

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО**

*Факультет інформатики та обчислювальної техніки* .  
(назва факультету, інституту)

*Кафедра автоматизованих систем обробки інформації і управління* .  
(назва кафедри)

"На правах рукопису"  
УДК 004.94: 519.876.5

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) **О.А.Павлов .**  
(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 19 р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**

**на здобуття ступеня магістра**

за спеціальністю . *126 Інформаційні системи та технології* ..  
(код та назва спеціальності)

ОПП *Інформаційні управляючі системи та технології* .  
(код та назва спеціалізації)

на тему: *Система моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах*

Виконав : студент \_\_\_\_\_ **VI курсу** \_\_\_\_\_ групи **ІС-81мп**  
(шифр групи)

*Бовда Владислав Едуардович*  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Науковий керівник** \_\_\_\_\_ *проф., д.т.н., проф. Стеценко І.В.*  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Консультант** \_\_\_\_\_ *проф., д.т.н., проф. Томашевський В.М.*  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Рецензент** \_\_\_\_\_ *начальник каф., д.т.н., с.н.с. Сова О.Я.*  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки  
(повна назва)

Кафедра автоматизованих систем обробки інформації та управління  
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології  
(код і назва)

ОПП Інформаційні управляючі системи та технології  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
О.А.Павлов  
(підпис) (ініціали, прізвище)  
«\_\_» грудня 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**  
Бовді Владиславу Едуардовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах

науковий керівник дисертації Стеценко Інна В'ячеславівна, проф., д.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “ 28 ” жовтня 20 19 р. № 3770-с

2. Строк подання студентом дисертації “ 2 ” грудня 20 19 р.

3. Об'єкт дослідження Інформаційні процеси поставок ресурсів для військових підрозділів.

4. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Виконати формалізацію задачі Транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах.

2. Розробити Петрі-об'єктну модель для транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. 3. Розробити систему моделювання транспортних

перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах.

5. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу 1. Схема структурних варіантів виконання. 2. Діаграма діяльності створення маршрутів та статистики витрат ресурсів на перевезення. 3. BPWIN діаграма. 4. Схема структурних станів системи для пошуку маршрутів доставки. 5. Схема структурна класів програмного забезпечення. 6. Схема структурних компонентів. 7. Ілюстрація інтерфейсу. 8. Ілюстрація прикладу транспортних сполучень між автопарком та військовими частинами. 9. Ілюстрація представлення мережею Петрі транспортних сполучень між автопарком та військовими частинами.

6. Орієнтовний перелік публікацій Чотири публікації: дві статті у фахових журналах та дві тези доповіді на наукових конференціях

#### 7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

8. Дата видачі завдання “ 28 ” жовтня 2019 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Систематизація результатів огляду літератури	17.09.2019	
2	Аналіз існуючих методів розв'язання задачі	01.10.2019	
3	Постановка та формалізація математичної моделі задачі	08.10.2019	
4	Розробка алгоритмів розв'язання задачі	15.10.2019	
5	Розробка інформаційного та програмного забезпечення	12.11.2019	
7	Проведення експериментальних досліджень розроблених алгоритмів	16.11.2019	
8	Оформлення документації	19.11.2019	
9	Подання роботи на попередній захист	20.11.2019	
10	Подання роботи на основний захист	02.12.2019	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

В.Е. Бовда

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис)

І.В. Стеценко

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 99 с., 30 рис., 27 табл., 34 джерел, 9 додатків.

**Актуальність.** Армія - основа оборонної функції будь-якої країни. Від стану армії залежить імідж країни на міжнародній арені, впевненість громадян у власній безпеці, можливість протистояти зовнішнім загрозам і навіть здатність попереджати війни і конфлікти. І саме тому витрати на армію у переважній більшості країн є найбільшою статтею витрат. Величезні поставки військових ресурсів по всій країні вимагають великих витрат на перевезення. Планування маршрутів перевезень, які б забезпечили вчасну доставку та економію загальних витрат на доставку становить складну задачу для військового логіста.

Тому на даний момент існує необхідність у створенні програмного забезпечення для військових логістів, що дозволяло би швидко та ефективно планувати поставки військових ресурсів, які б забезпечували вчасну доставку та економили витрати на перевезення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась на кафедрі автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» в рамках теми «Методи візуального програмування Петрі-об'єктних моделей.» (№ ДР 0117U000918).

**Мета дослідження** – підвищення якості процесу доставки військових ресурсів та зниження витрат на їх доставку за рахунок інформаційної системи моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- виконати огляд існуючих методів та засобів транспортних задач;
- здійснити порівняльний аналіз різних методів та моделей транспортних задач;

- формалізувати транспортну задачу перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах;
- розробити Петрі-об'єктну модель транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах;
- розробити алгоритм пошуку оптимальної кількості транспортних засобів для кожного військового складу та їх маршрути, що зменшує витрати палива на доставку та загальний час запізнення;
- розробити програмну реалізацію розробленого алгоритму;
- виконати аналіз отриманих результатів.

**Об'єкт дослідження** – інформаційні процеси поставок ресурсів для військових підрозділів.

**Предмет дослідження** – методи та інформаційні технології оптимізації витрат на доставку ресурсів у військові підрозділи.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Система моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах дозволяє оперувати різними ресурсами військового устаткування. Також система дозволяє проводити налаштування вантажопідйомності для кожного транспортного засобу. Перевагою системи є стохастичність, що в свою чергу наближає моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів до реальних значень. Деталізація процесів дозволяє проводити більш адекватне відображення станів та дій, які відбуваються у реальній системі. Використання генетичного алгоритму дає можливість визначити необхідну кількість транспортних засобів та їх вантажопідйомність для кожного складу та маршрути, які зменшують час запізнення замовлень та загальні витрати пального на доставку. Також використання генетичного алгоритму дозволяє генерувати широкий набір рішень та не дозволяє попадати в локальні екстремуми. Система дозволяє проводити моделювання транспортних перевезень у складних багаторівневих ієрархічних системах.

**Публікації.** Матеріали роботи опубліковані в Збірнику наукових праць ВІТІ 2019 №3,4 та на III всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління» (ІСТУ-2019).

ВІЙСЬКОВА ЛОГІСТИКА, ТРАНСПОРТНА ЗАДАЧА, ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, ЕКЗЕМПЛЯР ПОПУЛЯЦІЇ, СЕЛЕКЦІЯ ЕКЗЕМПЛЯРІВ ПОПУЛЯЦІЇ, СТОХАСТИЧНА МЕРЕЖА ПЕТРІ, ПЕТРІ-ОБ'ЄКТНА МОДЕЛЬ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ

## ABSTRACT

Master's Thesis: 99 pp., 30 figs., 27 tables., 34 sources, 9 supplements.

**Topicality.** The army is the basis of any country's defense function. The image of the country in the international arena depends on the state of the army, citizens' confidence in their own security, their ability to withstand external threats, and even their ability to prevent wars and conflicts. This is why military spending in the vast majority of countries is the largest cost item. Huge supplies of military resources across the country require high transportation costs. Planning transportation routes that will ensure timely delivery and save on overall shipping costs is a difficult task for the military logistician.

Therefore, there is a need at present for the creation of software for military logistics, which would allow the rapid and efficient planning of deliveries of military resources that would ensure timely delivery and save on transportation costs.

**Relationship with working with scientific programs, plans, topics.** The work was performed at the Department of Automated Information Processing and Management Systems of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute. Igor Sikorsky» within the topic "Methods for Visual Programming of Petri-Object Models." 0117U000918.

The purpose of the study is to improve the quality of the delivery of military resources and reduce the cost of their delivery.

To achieve this goal, you must complete the following tasks:

- review existing methods and means of transport tasks;
- to carry out comparative analysis of different methods and models of transport problems;
- formalize the transport task of transportation of material in military units;
- to develop a petri-object model of transportation of material in military units;
- to develop an algorithm for finding the optimal number of vehicles for each military unit and their routes, which reduces the cost of fuel for delivery and the total delay time;
- to develop software implementation of the developed algorithm;

- to analyze the results obtained.

**Object of study** - information processes for supplying resources to military units..

**The subject of the study** - methods and information technologies for optimizing the cost of resource delivery.

### **Scientific novelty of the obtained results**

The system of modeling transportation of material transportation in military units allows to operate various resources of military equipment. The system also allows you to adjust the load capacity for each vehicle. The advantage of the system is stochasticity, which in turn brings the modeling of transportation of material to real values. The detailing of the processes allows for a more adequate reflection of the states and actions occurring in the real system. The use of a genetic algorithm makes it possible to determine the required number of vehicles and their load capacity for each warehouse and routes, which reduce order delay and overall fuel costs for delivery. Also, using a genetic algorithm allows you to generate a wide range of solutions and does not allow you to get into local extremes. The system allows modeling of transportation in complex multilevel hierarchical systems.

**Publications.** The materials of the work are published in the Collection of scientific works of VITI 2019 № 3,4 and at the III All-Ukrainian scientific-practical conference of young scientists and students "Information systems and technologies of management" (ISTU-2019).

MILITARY LOGISTICS, TRANSPORTATION PROBLEMS, GENETIC ALGORITHM, COPIES POPULATION SELECTION COPIES POPULATION STOCHASTIC PETRI NET, PETRI-OBJECT MODEL, SIMULATION, OPTIMIZATION ALGORITHM



# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	11
ВСТУП.....	12
<b>1 ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ З РОЗРОБКИ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МАТЕРІАЛЬНИХ ЗАСОБІВ У ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛАХ .....</b>	<b>14</b>
1.1 Опис бізнес – процесів .....	14
1.1.1 Опис процесу діяльності .....	15
1.1.2 Актори і функції .....	18
1.1.3 Структура бізнес-процесів.....	20
1.2 Схема функціональної структури .....	22
1.3 Опис постановки задачі .....	22
1.4 Рішення з інформаційного забезпечення .....	23
<b>2 МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МАТЕРІАЛЬНИХ ЗАСОБІВ У ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛАХ .....</b>	<b>25</b>
2.1 Змістовна постановка задачі.....	25
2.2 Математична модель .....	26
2.3 Огляд методів розв’язання .....	28
2.4 Розробка методу розв’язання задачі .....	37
2.5 Розробка алгоритму розв’язання.....	46
2.6 Результати досліджень ефективності методу .....	47
Висновки до розділу .....	48
<b>3 ОПИС ПРОГРАМНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....</b>	<b>50</b>
3.1 Засоби розробки.....	50
3.2 Архітектура програмного забезпечення .....	54
3.3 Інструкція користувача .....	57
3.4 Опис технічного забезпечення .....	64
Висновки до розділу .....	65
<b>4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....</b>	<b>66</b>
1. Опис ідеї проекту.....	66
2. Технологічний аудит ідеї проекту .....	69
3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	70
4. Розроблення ринкової стратегії проекту .....	79
5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	81

6. Висновки до розділу .....	83
ВИСНОВКИ .....	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	87
ДОДАТОК А .....	91
Схема структурних варіантів виконання .....	92
Діаграма діяльності створення маршрутів та статистики витрат ресурсів на перевезення .....	93
BPWIN діаграма.....	94
Схема структурних станів системи для пошуку маршрутів доставки.....	95
Схема структурна класів програмного забезпечення .....	96
Схема структурних компонентів .....	97
Головне вікно програми.....	98
Приклад транспортних сполучень між автопарком та військовими частинами ...	99
Представлення мережею Петрі транспортних сполучень між автопарком та військовими частинами.....	100

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

VRP – vehicle routing problem

MDVRPTW – multi-depot vehicle routing problem

GAPN – genetic algorithm and petri net

GA – genetic algorithm

ЕОМ – електронна обчислювальна машина

СМО – система масового обслуговування

JVM – Java Virtual Machine

JIT – Just-in-time compilation

## ВСТУП

Логістика має велике значення як для клієнтів і постачальників підприємства, так і для власників і акціонерів. Головними показниками значущості логістики є час і місце. У товарів і послуг практично немає ніякої цінності, якщо вони не знаходяться саме в той час і в тому місці, де в них виникає потреба.

Протягом багатьох років робилися спроби дослідити і оцінити питому вагу логістики як на макроекономічному, так і на мікроекономічному рівні. Згідно з дослідженнями Міжнародного валютного фонду, витрати на логістику складають приблизно 12% світового валового продукту, а на рівні підприємств - від 4% до більш ніж 30% доходів.

Ще задовго до того, як підприємці стали цікавитися логістикою, ця галузь була широко поширена в військовій справі. Під час будь-яких військових дій необхідно доставити військовослужбовців, боєприпаси, запаси їжі в потрібне місце. По суті, логістика підприємницької діяльності виникла з військової логістики, тільки у військовій логістиці клієнтами є військовослужбовці, і керівництву армією потрібно зробити все, щоб забезпечити їх усім необхідним.

Завдання маршрутизації автотранспорту (Vehicle Routing Problems, VRP) - це великий клас задач дослідження операцій, що має пряме відношення до проблем побудови нових ефективних засобів логістики. Завдання маршрутизації автотранспорту може бути описано, як завдання знаходження оптимального (мінімального за витратами) плану перевезень будь-якого товару від постачальника до клієнтів, за умови додаткових обмежень. Додаткові обмеження можуть накладатися на кількість транспортних засобів, на час прибуття і час відправлення, на вантажопідйомність, тривалість маршруту і т.д[1].

Критерієм ефективності плану вантажоперевезень є сумарні витрати на перевезення вантажів транспортом.

Сучасні технічні, технологічні та інформаційні системи мають високий рівень складності, а саме велику кількість взаємопов'язаних елементів, різноманітні процеси функціонування елементів та підсистем. Методи дискретно-подієвого моделювання найбільш пристосовані для опису таких систем. В залежності від

опису моделі розрізняють аналітичне та імітаційне моделювання. Аналітичні моделі надають можливість здійснювати дослідження властивостей систем в залежності від параметрів системи в узагальненому вигляді. Імітаційні моделі, на відміну від аналітичних, здатні враховувати специфічні деталі функціонування елементів системи. Кожний метод має свої переваги моделювання, тому важливо мати таку формалізацію системи, яка б дозволяла застосовувати обидва підходи[2].

Розроблена технологія Петрі-об'єктного моделювання орієнтована на використання стохастичної мережі Петрі з багатоканальними та конфліктними переходами, з інформаційними зв'язками для опису динаміки системи. Математичні рівняння станів такої мережі Петрі розроблені в роботі. Алгоритм імітації Петрі-об'єктної моделі, побудований у відповідності до математичного опису, підтверджує його коректність, дозволяє оцінити складність алгоритму та запобігти помилкам при його програмуванні. Отже, технологія Петрі-об'єктного моделювання надає можливість поєднати переваги аналітичного та імітаційного моделювання систем, а також розширити клас систем, що можуть бути формалізовані стохастичною мережею Петрі. Використання технології з візуальними засобами представлення моделі дозволяє перейти від програмування алгоритму до програмування моделі[2].

Вкладені мережі Петрі є одним із зручних формалізмів для моделювання та аналізу поведінки розподілених мультиагентних систем. Вони природним чином представляють структуру мультиагентних систем, так як фішки в системній мережі самі є класичними мережами Петрі і можуть мати автономну поведінку. Мультиагентні системи є системами з високим рівнем паралелізму [3].

Сьогодні підхід GAPN (генетичні алгоритми і мережі Петрі) набуває все більшої популярності в вирішенні багатьох складних задач. Він поєднує в собі потужність моделювання мереж Петрі з можливістю оптимізації генетичних алгоритмів (GA) для планування виробничих систем. Цей підхід використовує як мережі Петрі для формулювання завдання планування, так і GA для планування. Його основною перевагою є його здатність моделювати широкий спектр виробничих систем без змін ні в структурі мережі, ні в поданні хромосом [4].

# 1 ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ З РОЗРОБКИ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МАТЕРІАЛЬНИХ ЗАСОБІВ У ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛАХ

## 1.1 Опис бізнес – процесів

Величезні поставки військових ресурсів по всій країні вимагають великих витрат на перевезення. Планування маршрутів перевезень, які б забезпечили вчасну доставку та економію загальних витрат на доставку становить складну задачу для військового логіста. Тому на даний момент існує необхідність у створенні програмного забезпечення для військових логістів, що дозволяло би швидко та ефективно планувати поставки військових ресурсів, які б забезпечували вчасну доставку та економили витрати на перевезення. Для розв’язання задачі обрано генетичний алгоритм, тому що він невразливий до потрапляння у локальний екстремум та виконується за відносно менший час ніж інші алгоритми. Запропоновано нове рішення, що дозволяє зменшити витрати на доставку замовлень у транспортній системі матеріального забезпечення військових підрозділів

Військове устаткування та ресурси для доставки товарів представляються у вигляді “позицій” (ресурсів) мереж Петрі. Зв’язки між військовими складами та частинами представляються у вигляді “переходів” мереж Петрі. Ці переходи мають пріоритет, який буде геном у нашому генетичному алгоритмі. Екземпляр популяції являє собою список пріоритетів для всіх переходів у моделі. Селекція екземплярів популяції здійснюється через порівняння кількості витрат палива та загального часу затримки, що були отримані у результаті моделювання моделі екземпляру. Чим менша витрата палива та загальний час затримки, тим кращий екземпляр. Завдяки деталізації процесів доставки у мережі Петрі можна отримувати кращі маршрути доставки для транспортних засобів.

### 1.1.1 Опис процесу діяльності

Мережі Петрі є засобом формального опису процесів функціонування дискретних систем. У дискретній системі зміни її стану трапляються в особливі моменти часу, коли виникають умови для здійснення події. Здійснення події означає зміну стану системи, а значить, виникнення або не виникнення умов для інших подій. Процес функціонування дискретної системи – це упорядкована в часі послідовність подій [14].

Процес функціонування мережі Петрі може бути наочно представлений графом досяжних маркувань. Стан мережі однозначно визначає її маркуванням - розподілом фішок по позиціях. Вершинами графа є допустимі маркування мережі Петрі, дуги позначені символом спрацьовуючого переходу. Дуга будується для кожного збудженого переходу. Умовою запуску переходу є наявність маркерів у його вхідних позиціях в кількості рівній кількості зв'язків. Якщо умова запуску переходу виконана, здійснюється вхід маркерів до переходу і запам'ятовується момент виходу маркерів з переходу. Потім обирається перехід, для якого момент виходу маркерів з переходу найменший, і здійснюється вихід маркерів з обраного переходу. Вихід маркерів з переходу змінює маркування мережі Петрі, тому знову перевіряється умова запуску переходу і т.д. Процес продовжується, доки запускається хоч один перехід, або, доки вичерпаний час спостереження мережі Петрі.

Якщо в мережі Петрі одночасно виконана умова запуску декількох переходів, то такі переходи називають конфліктними.

Існують наступні способи розв'язування конфлікту[14]:

- пріоритетний (явний та неявний спосіб завдання пріоритету);
- ймовірнісний (з рівною та указаною ймовірністю).

При пріоритетному способі указується пріоритет запуску переходів і першим запускається перехід, що має вищий пріоритет. Наприклад, якщо один із пристроїв, що обслуговує об'єкти, основний, а інший – резервний, то для переходу «обслуговування основним пристроєм» повинен бути указаний пріоритет запуску вищий, ніж для переходу «обслуговування резервним пристроєм».

У мережі Петрі з конфліктними переходами спочатку перевіряється умова запуску усіх її переходів, потім розв'язується конфлікт для конфліктних переходів і тільки потім здійснюється запуск переходу, що «виграв» конфлікт.

Для того, щоб представити систему засобами мереж Петрі потрібно[14]:

- виділити події, що виникають в системі, і поставити у відповідність кожній події перехід мережі Петрі;
- з'ясувати умови, при яких виникає кожна з подій, і поставити у відповідність кожній умові позицію мережі Петрі;
- визначити кількість фішок у позиції мережі Петрі, що символізує виконання умови;
- з'єднати позиції та переходи відповідно до логіки виникнення подій у системі : якщо умова передуює виконанню події, то з'єднати в мережі Петрі відповідну позицію з відповідним переходом; якщо умова являється наслідком виконання події, то з'єднати в мережі Петрі відповідний перехід з відповідною позицією;
- з'ясувати зміни, які відбуваються в системі при здійсненні кожної події, і поставити у відповідність змінам переміщення визначеної кількості фішок із позицій в переходи та з переходів у позиції;
- визначити числові значення часових затримок в переходах мережі Петрі;
- визначити стан мережі Петрі на початку моделювання.

Стохастичні мережі Петрі добре підходять для вирішення конфліктних ситуацій, оскільки часові затримки являють собою випадкові величини з заданим законом розподілу [14].

Імітаційні моделі зв'язані не з аналітичним поданням, а з принципом імітації за допомогою інформаційних та програмних засобів складних процесів і систем в найскладнішому аспекті – динамічному [6].

Пристрій - виробничий ресурс, який займає чітке місце в моделі, займає певний час та потребує використання модельних ресурсів. (Наприклад: верстат, який обробляє деталь та потребує електроенергію для роботи). Також пристрої поділяються на:

- одноканальні, які обслуговують одночасно одну заявку;



- багатоканальні, які дозволяють одночасно обслуговувати кілька заявок.

Модельний ресурс – кількісний ресурс, який займає чітке місце в моделі та являє собою атрибут моделі, який може змінюватись. (Наприклад: електроенергія для верстату).

Завдання – об'єкти, над якими необхідно провести дію на пристрої.

Черга – список завдань для певного пристрою.

Події пов'язані зі зміною стану системи та її об'єктів. Події забезпечують дискретність процесу. Процес представляється набором активностей та пасивностей. Початок кожної активності пов'язано з виникненням події в системі.

Механізми обліку системного часу[6]:

- час змінюється рівномірно з певною дискретністю (лічильник часу спрацьовує при певній кількості одиниць, при кожному спрацьовуванні виникають події, які поміщаються в спеціальний список майбутніх подій. Якщо час події, що знаходиться в списку менше або дорівнює часу спрацьовування лічильника, то подія запускається на виконання) . - неефективно для більшої частини систем (лічильник спрацьовує вхолосту);
- просування модельного часу у відповідності до моментів виникнення подій. Список майбутніх подій - кожна подія має параметр часу виникнення.

Алгоритм імітації перевіряє список майбутніх подій і витягує найближчу подію:

- зміну значення лічильника часу (часу настання даної події);
- запуск на виконання даної події.

Джерела появи випадкових факторів можуть бути зовнішніми і внутрішніми. Для моделювання випадкових факторів необхідно знати закон, за яким змінюються випадкові чинники. Даний закон зазвичай задається за допомогою відповідних теоретичних або емпіричних функцій розподілу. При цьому необхідно використовувати генератори псевдовипадкових чисел для імітації випадковості тих чи інших подій.

У магістерській роботі розглядається система, що дозволяє моделювати роботу військової логістики. Військовий логіст наносить на глобальну карту військові об'єкти та зв'язки між ними. Потім він вводить військові ресурси для

кожного складу. Наступним кроком є додавання військових замовлень, які необхідно доставити у встановлений час. Військовий логіст моделює роботу системи військової логістики та отримує маршрути для перевезень, які мінімізують витрату палива на доставку та загальний час запізнення замовлень. Також військовий логіст може переглянути звітність по вчасній доставці усіх замовлень та використанню людських ресурсів палива. Оптимізація використання ресурсів для перевезення залежить від кількості ітерацій генетичного алгоритму.

### 1.1.2 Актори і функції

На рисунку 1.1 наведено схему структурних варіантів виконання.

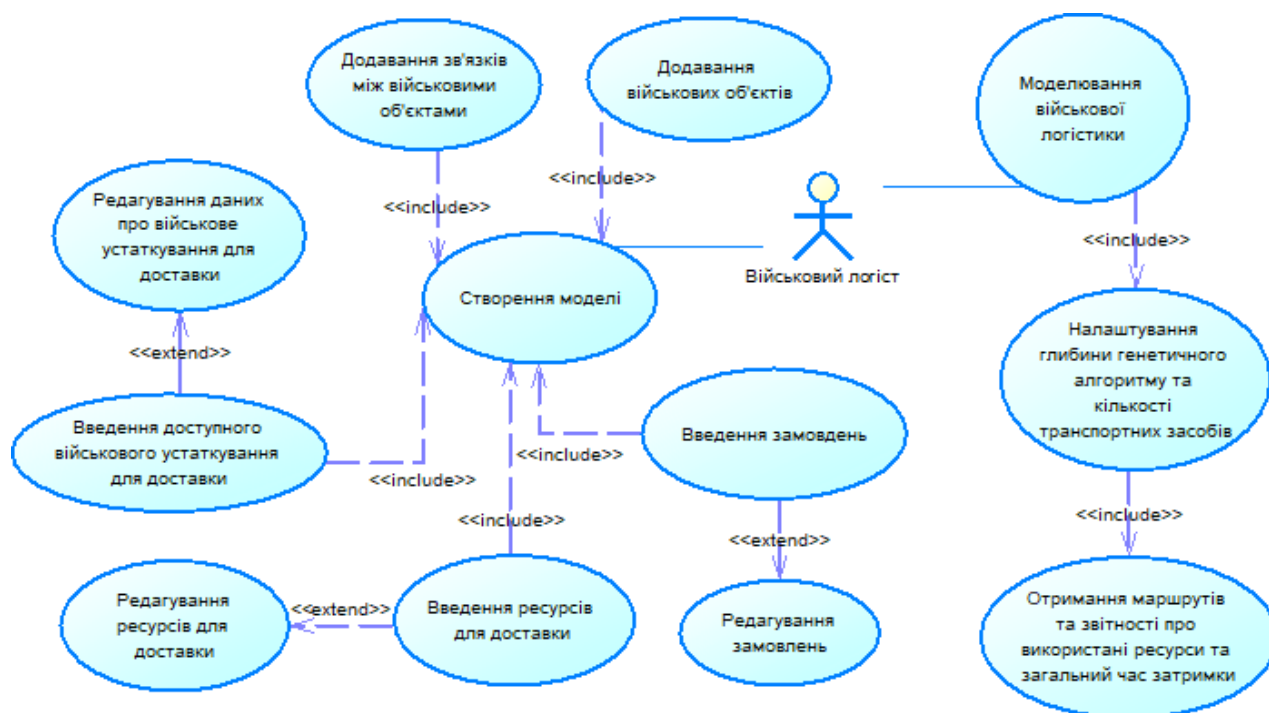


Рисунок 1.1 Схема структурних варіантів виконання.

У таблиці 1.1 наведено опис структурних варіантів виконання.

Таблиця 1.1 Опис структурних варіантів виконання

Назва прецеденту	Опис
Створення моделі	Система дозволяє створювати нову або редагувати стару модель і використовувати її в моделюванні для пошуку кращих маршрутів для перевезень та економії ресурсів, що використовуються для перевезень. Модель включає в себе: військові об'єкти; зв'язки між ними (дороги); військове устаткування, що знаходиться на цих об'єктах і може бути передано військовій частини у користування; автопарк та водії, що можуть використовуватися для перевезень вантажу; військові замовлення у частини, які мають бути доставлені вчасно
Додавання військових об'єктів	Система дозволяє додавати військовий об'єкт у модель шляхом нанесення відповідного маркера на глобальну карту
Додавання зв'язків між військовими об'єктами	Система дозволяє додавати маршрути між військовими об'єктами до моделі
Введення доступного військового устаткування для доставки	Система дозволяє додавати військове устаткування на військових об'єктів, яке доступне для замовлень

Редагування даних про військове устаткування для доставки	Система дозволяє змінювати військове устаткування на військових об'єктів, яке доступне для замовлень
---	--

Продовження таблиці 1.1

Назва прецеденту	Опис
Введення ресурсів для доставки	Система дозволяє додавати доступний автопарк військових об'єктів до моделі
Редагування ресурсів для доставки	Система дозволяє змінювати доступний автопарк військових об'єктів до моделі
Введення замовлень	Система дозволяє додавати замовлення військових частин у модель
Редагування замовлень	Система дозволяє змінювати замовлення військових частин у моделі
Моделювання військової логістики	Система дозволяє моделювати роботу військової логістики
Отримання маршрутів та звітності про використані ресурси	Система видає готові списки маршрутів для виконання військових замовлень та загальну кількість ресурсів, витрачених на перевезення
Налаштування глибини генетичного алгоритму та кількості транспортних засобів	Система дозволяє змінювати глибину генетичного алгоритму для отримання кращих маршрутів для економії ресурсів на перевезення. Система дозволяє редагувати кількість транспортних засобів та їх вантажопідйомність.

### 1.1.3 Структура бізнес-процесів

На рисунку 1.2 зображено діаграму діяльності створення маршрутів та статистики витрат ресурсів на перевезення.

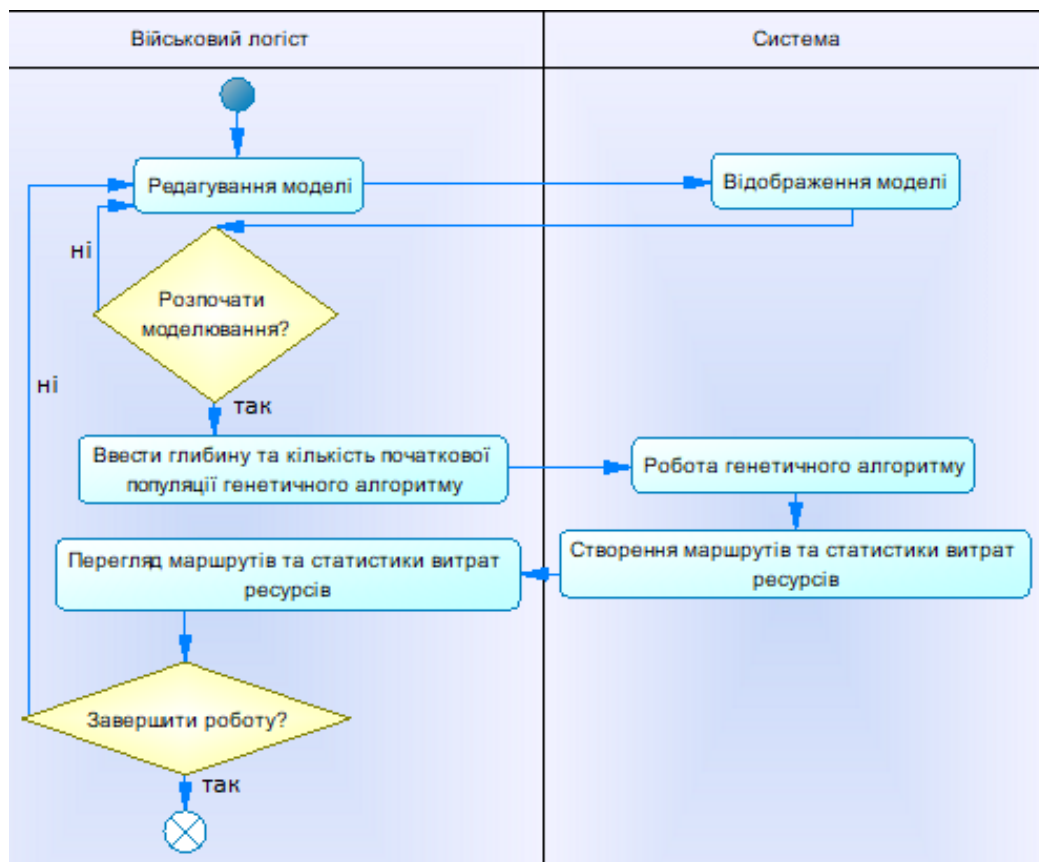


Рисунок 1.2 Діаграма діяльності створення маршрутів та статистики витрат ресурсів на перевезення

У таблиці 1.2 наведено опис процесів діяльності створення маршрутів та статистики витрат ресурсів на перевезення

Таблиця 1.2 Опис процесів діяльності створення маршрутів та статистики витрат ресурсів на перевезення

Назва процесу	Опис
Редагування моделі	Користувач розміщує військові об'єкти, зв'язки між військовими об'єктами, доступний автопарк, військове устаткування, військові замовлення
Відображення моделі	Система відображає модель на карті з відповідними маркерами та інформацією

	про внутрішні ресурси об'єктів та їх зв'язки
--	--

Продовження таблиці 1.2

Назва процесу	Опис
Ввести глибину генетичного алгоритму	Користувач обирає точність генетичного алгоритму
Моделювання системи	Система моделює процес роботи військової логістики та знаходить кращі рішення доставки військових замовлень, використовуючи генетичний алгоритм
Створення маршрутів та статистики витрат ресурсів	Система знаходить краще рішення маршрутів та рахує витрати ресурсів на доставку замовлень
Перегляд маршрутів та статистики витрат ресурсів	Користувач переглядає кращий варіант маршрутів та витрати ресурсів на доставку

## 1.2 Схема функціональної структури

На рисунку 1.3 зображено BPWIN діаграма, що відображає структуру підсистем програмного продукту.

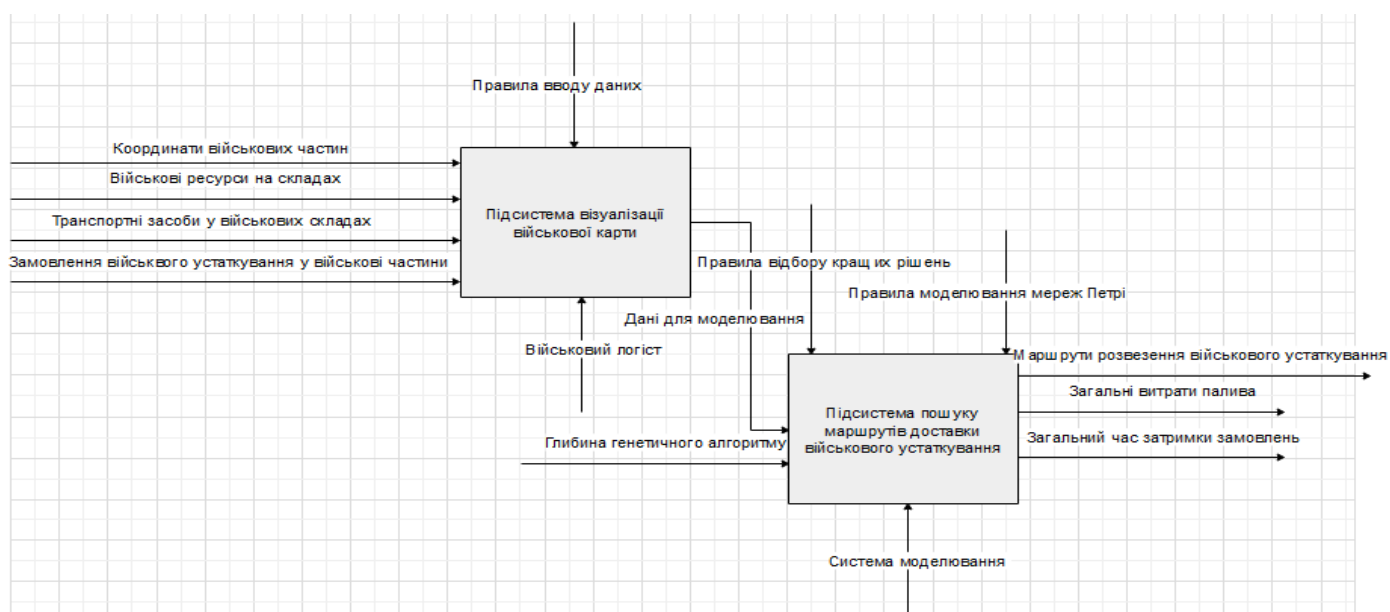


Рисунок 1.3 BPWIN діаграма

## 1.3 Опис постановки задачі

Метою створення системи є планування перевезень яким відповідають мінімальні витрати на доставку військового устаткування та забезпечення вчасної доставки за рахунок знаходження кращих маршрутів, використовуючи моделювання. Призначенням системи є пошук маршрутів, які б забезпечили вчасну доставку та мінімізували витрати на доставку замовлень.

Для реалізації мети необхідно виконати такі завдання:

1. Розробка глобальної карти та інструментів
2. Нанесення військових об'єктів на глобальну карту
3. Реалізація моделі
  - 3.1. Генерація мережі Петрі, що відповідає військовим об'єктам
4. Складання плану, якому відповідає мінімальне використання палива та людських ресурсів та мінімізація часу затримки доставки
  - 4.1. Реалізація генетичного алгоритму для мінімізації витрат ресурсів на доставку
  - 4.2. Видача маршрутів доставки

#### 1.4 Рішення з інформаційного забезпечення

##### **Вхідні дані:**

- військова частина (фрагмент PetriNet);
- оперативний склад (PetriNet);
- тактичний склад (PetriNet);
- стратегічний склад (PetriNet);
- дороги між військовими об'єктами (PetriT, ArcIn, ArcOut);
- час моделювання;
- кількість транспортних засобів для кожного складу;
- вантажопідйомність транспортного засобу (кількість маркерів у PetriP);
- кількість ресурсів у складах (кількість маркерів у PetriP);
- замовлення ресурсів у військові частини (кількість маркерів у PetriP).

Клас PetriNet описує роботу стохастичної мережі Петрі.

Клас PetriP описує позицію мережі Петрі у PetriNet.

Клас PetriT описує перехід у PetriNet.

Клас ArcIn описує вхідну дугу з переходу у позицію у PetriNet.

Клас ArcOut описує вихідну дугу з позиції у перехід у PetriNet.

#### **Вихідні дані:**

- маршрути транспортних засобів (список військових об'єктів, які відвідає транспортний засіб);
- загальні витрати палива;
- загальний час затримки замовлень.

#### **Опис структури бази даних**

База даних відсутня.

#### **Структура масивів інформації**

Програма зберігає створену ієрархію військових об'єктів у форматі .pns.

В цьому файлі зберігаються об'єкт типу PetriNet (з бібліотеки PetriObjLib), який містить інформацію про ресурси військових складів, транспортні засоби військових складів, дороги між військовими складами та військовими частинами, замовлення у військові частини.

Ресурси військових складів – позиції, які позначають багатоканальне завантаження військових ресурсів у транспортні засоби.

Транспортні засоби військових складів – мережа Петрі, яка відображає курсування і доставку замовлень між військовими об'єктами.

Замовлення у військові частини – позиції та переходи, які позначають багатоканальну доставку транспортними засобами військові ресурси.

Дороги – переходи позначають переїзд з одного військового об'єкту в інший за певний проміжок часу.



## 2 МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МАТЕРІАЛЬНИХ ЗАСОБІВ У ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛАХ

### 2.1 Змістовна постановка задачі

Військовий логіст наносить на карту військові частини та військові склади трьох рівнів: стратегічний, тактичний, оперативний. Стратегічні склади є найбільшими складами, вони доставляють ресурси у тактичні склади. Тактичні склади є середніми складами, вони доставляють ресурси у оперативні склади. Оперативні склади є найменшими складами, вони доставляють ресурси у військові частини, які в свою чергу є кінцевими споживачами ресурсів. Кожен склад має в своєму розпорядженні транспортні засоби, які забезпечують перевезення військових ресурсів у менші склади або частини. Кожен транспортний засіб може відвідати один або більше складів (частин). Кожен рівень складів відрізняється обсягом військових ресурсів, які можуть на ньому зберігатися та розміром транспортних засобів. Постає задача у пошуку необхідної кількості транспортних засобів для кожного складу та множини маршрутів перевезення, які мінімізують сумарний час затримки та витрати палива на доставку до військових частин та складів.

#### **Вхідні дані:**

- координати військових складів різних рівнів;
- координати військових частин;
- військове устаткування, що зберігається на складах;
- автопарк, що знаходиться біля військових складів;
- замовлення у військові частини;
- дороги між військовими складами та частинами;
- глибина генетичного алгоритму (точність).

**Вихідні дані:**

- списки маршрутів для виконання військових замовлень;
- загальні витрати палива;
- загальний час затримки замовлень.

**2.2 Математична модель**

Дано:

$B1$  – кількість оперативних складів;

$B2$  – кількість тактичних складів;

$B3$  – кількість стратегічних складів;

$B4$  – кількість військових частин;

$G$  – список зв'язків між складами різних рівнів та військовими частинами;

$N1_i$  – кількість замовлень для оперативних складів  $i = \overline{1, B1}$ ;

$N2_i$  – кількість замовлень для тактичних складів  $i = \overline{1, B2}$ ;

$N3_i$  – кількість замовлень стратегічних складів  $i = \overline{1, B3}$ ;

$N4_i$  – кількість замовлень для військових частин  $i = \overline{1, B4}$ ;

$M1_i$  – кількість маршрутів для  $i$ -ого оперативного складу  $i = \overline{1, B1}$ ;

$M2_i$  – кількість маршрутів для  $i$ -ого тактичного складу  $i = \overline{1, B2}$ ;

$M3_i$  – кількість маршрутів для  $i$ -ого стратегічного складу  $i = \overline{1, B3}$ ;

$E1_i$  – кількість транспортних засобів для  $i$ -ого оперативного складу  $i = \overline{1, B1}$ ;

$E2_i$  – кількість транспортних засобів для  $i$ -ого тактичного складу  $i = \overline{1, B2}$ ;

$E3_i$  – кількість транспортних засобів для  $i$ -ого стратегічного складу  $i = \overline{1, B3}$ ;  $C1_{ij}$

– вміст  $i$ -ої машини по вазі для  $j$ -ого оперативного складу,  $i = \overline{1, E1}$ ;  
 $j = \overline{1, B1}$ ;

$C2_{ij}$  – вміст  $i$ -ої машини по вазі для  $j$ -ого оперативного складу,  $i = \overline{1, E2}$ ;  
 $j = \overline{1, B2}$ ;

$C3_{ij}$  – вміст  $i$ -ої машини по вазі для  $j$ -ого оперативного складу,  $i = \overline{1, E3}$ ;  
 $j = \overline{1, B3}$ ;

$W1_{ij}$  – загальна вага  $i$ -ого замовлення для  $j$ -ого оперативного складу,  $i = \overline{1, N1}$ ;  
 $j = \overline{1, B1}$ ;

$W2_{ij}$  – загальна вага  $i$ -ого замовлення для  $j$ -ого тактичного складу,  $i = \overline{1, N2}$   
 $j = \overline{1, B2}$ ;

$W3_{ij}$  – загальна вага  $i$ -ого замовлення для  $j$ -ого стратегічного складу,  $i = \overline{1, N3}$   
 $j = \overline{1, B3}$ ;

$O1_{ji}$  – кількість замовлень для  $i$ -ого маршруту,  $j$ -ого оперативного складу  $j = \overline{1, B1}$ ;  
 $i = \overline{1, M1}$ ;

$O2_{ji}$  – кількість замовлень для  $i$ -ого маршруту,  $j$ -ого тактичного складу  $j = \overline{1, B2}$ ;  
 $i = \overline{1, M2}$ ;

$O3_{ji}$  – кількість замовлень для  $i$ -ого маршруту,  $j$ -ого стратегічного складу  
 $j = \overline{1, B3}$ ;  $i = \overline{1, M3}$ ;

$O4_{ji}$  – кількість замовлень для  $i$ -ого маршруту,  $j$ -ого стратегічного складу  $j = \overline{1, B4}$ ;  
 $i = \overline{1, M4}$ ;

$t_i$  – директивний час доставки  $i$ -ого замовлення,  $i = \overline{1, N4}$ ;

$T_i$  – фактичний час доставки  $i$ -ого замовлення,  $i = \overline{1, N4}$ ;

$k_i$  – пройдений шлях  $i$ -ого маршруту,  $i = \overline{1, (M1 + M2 + M3)}$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт важливості витрат палива;

$(1 - \alpha)$  – коефіцієнт важливості вчасної доставки замовлень;

$z_i$  – час затримки  $i$ -ого замовлення,  $i = \overline{1, N4}$  (Якщо  $t_i \geq T_i$ , то  $z_i = 0$ , інакше  
 $z_i = T_i - t_i$ ).

*Обмеження:*

$$0 \leq \alpha \leq 1.$$

$\sum_{i=1}^{N1} W1_i \leq C_{o1}$ ,  $j = \overline{1, B1}$  – обмеження для замовлень оперативних складів.

$\sum_{i=1}^{N2} W2_i \leq C_{t1}$ ,  $j = \overline{1, B2}$  – обмеження для замовлень тактичних складів.

$\sum_{i=1}^{N3} W3_i \leq C_{s1}$ ,  $j = \overline{1, B3}$  – обмеження для замовлень стратегічних складів.

$M1_i \geq E1_i$   $i = \overline{1, B1}$  – кількість маршрутів для оперативних складів може бути більшою за кількість доступних транспортних засобів.

$M2_i \geq E2_i$   $i = \overline{1, B2}$ ; – кількість маршрутів для тактичних складів може бути більшою за кількість доступних транспортних засобів.

$M3_i \geq E3_i \quad i = \overline{1, B3}$  - кількість маршрутів для стратегічних складів може бути більшою за кількість доступних транспортних засобів.

Тоді цільова функція рішення задачі транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах буде виглядати таким чином:

$$(1 - \alpha) \sum_{i=1}^n z_i + \alpha \sum_{i=1}^m k_i \rightarrow \min \quad (2.1)$$

Цільова функція моделювання цієї задачі можна представити в формальному вигляді:

$$Y = F(X, P) \quad (2.2)$$

де  $Y \rightarrow \min$ , є цільовою функцією;

$F$  – алгоритм імітації;

$X$  – змінні моделі:

$X = (T, W1, W2, W3, N1, N2, N3, M1, M2, M3, O1, O2, O3, O4, E1, E2, E3);$

$P$  – вхідні параметри:

$P = (t, B1, B2, B3, B4, N4, G, \alpha, C1, C2, C3).$

## 2.3 Огляд методів розв'язання

Дана задача належить до класу NP-повних, а це означає, що обчислювальна складність залежить від розмірів вхідних даних експоненціально.

Усі алгоритми які здатні вирішувати NP-повні задачі поділяються на точні підходи, евристичні методи та мета-евристичні методи.

Точні підходи перебирають всі можливі рішення, поки не буде знайдено оптимальне. У евристичних методах здійснюється відносно обмежений пошук по простору рішень, і зазвичай знаходяться хороші рішення за прийнятний час. У мета-евристичних методах акцент робиться на ретельному вивченні найбільш перспективних частин простору рішень. Якість одержуваних рішень виходить вище, ніж у отриманих класичними евристичними, однак час пошуку рішення може бути набагато більшим.

В роботі [1] описано модифікований генетичний алгоритм рішення транспортних задач з обмеженням в часі. В даному алгоритму геном є згенерований маршрут транспортного засобу, а особиною є набір маршрутів транспортних засобів. Проведені обчислювальні експерименти показали, що розроблений гібридний алгоритм дає рішення з точки зору балансу між кількістю транспортних засобів і довжиною пройденого шляху, однак відсутня оцінка вчасності доставки замовлень. Також недоліком є те, що при генерації екземпляру в генетичному алгоритмі доводиться перевіряти маршрути на коректність, на що при великих обсягах даних витрачається багато часу.

В роботі [7] розглядається оптимізаційна задача складання розкладу і маршрутів руху обслуговуючих бригад. Для вирішення даного типу задач пропонується матричний алгоритм рою частинок. В даному методі генеруються маршрути для кожної бригади. Точки маршруту сортуються у порядку значущості бригади до клієнта для кожного бригади. Набір маршрутів бригад є екземпляром в алгоритмі рою, який можна оцінити за показниками вчасного задоволення потреб клієнтів. В ході ітерацій частини маршрутів змінюються. Екземпляри, які найбільше задовольняють потреби клієнтів змінюються менше. Алгоритм рою частинок є метавристичним, він дозволяє отримувати безліч допустимих рішень, однак час генерації одного екземпляру популяції є великим. Також результат обчислень алгоритму залежить від початкових параметрів, що може призвести до тривалого пошуку рішення.

В роботі [8] описано гібридний локальний пошук для завдання маршрутизації транспортних засобів з розподіленими поставками, гібридний алгоритм локального пошуку для завдання маршрутизації транспорту різної вантажопідйомності обмеженого автопарку, трьохфазний алгоритм оптимізації автопарку і маршрутизації транспортних засобів. В основу даних алгоритмів покладено зміну точок маршрутів та розбиття одного замовлення на декілька. Дані методи є не ефективними на великих обсягах даних та потребують багато часу на перевірку коректності маршрутів перевезення.

В роботі [9] описується процедура динамічної адаптації генетичного алгоритму для тестових задач комівояжера на великих мережах, що дозволяє отримувати більш економні маршрути. Ефективність запропонованих процедур підтверджує результати експериментальних випробувань. Демонструється методика використання властивості часової неспроможності евристичних алгоритмів для цілей підвищення рівня їх ефективності.

В роботі [10] розглядається рішення NP-повної задачі маршрутизації автотранспорту. Пропонується модифікований генетичний алгоритм для вирішення даного завдання. Основна ідея алгоритму - моделювання природного відбору. Розроблено програмне середовище маршрутизації вантажоперевезень. Експериментальні дослідження довели ефективність модифікованого генетичного алгоритму. «Хороші» рішення знаходяться протягом декількох секунд.

В роботі [11] розглядаються нові підходи до вирішення динамічних транспортних завдань. Такого роду завдання відносяться до класу NP-складних задач і для їх ефективного вирішення постійно розробляються й удосконалюються різні методи, засновані на використанні різних евристик. Описані нові підходи до вирішення подібних завдань на основі гібридних інтелектуальних моделей і методів. Наприклад, використання моделі нечіткого логічного контролера для динамічної зміни керуючих параметрів завдання. Представлені моделі вирішення завдань оптимізації на основі ройових методів, в тому числі мурашиних алгоритмів.

В роботі [12] описано необхідність удосконалення механізмів управління взаємодією учасників на ринку перевезень. Прийняття рішень з управління транспортно-логістичними системами відбувається в умовах багатокрітеріальної, багатофакторності, наявності обмежень. Постановка і рішення логістичних задач маршрутизації, знаходження оптимального набору допустимих маршрутів відбуваються в різних областях транспортної логістики: доставка товарів від постачальника до клієнта, доставка сировини, запасних деталей і вузлів на виробництво, кур'єрська і поштова доставка, робота вантажних і експедиторських операторів. Зазначені задачі розглядалися в роботах. Час - основне обмеження в

логістичних завданнях доставки, прив'язаною до розкладу морських, авіаційних і автомобільних маршрутів.

В роботі [13] пропонується метод побудови розкладу в завданні транспортної логістики MDVRPTW (Multiple Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows) на основі мультиагентного підходу. Розглядається мультиагентна система взаємодіючих вантажівок, складів і замовлень. Для обмеження інтенсивності переговорів агентів запропонована організація сцени на основі триангуляції Делоне. Показано, що рішення мультиагентної системи на 10-30% відрізняється від відомих еталонних рішень, однак значно перевищує їх за швидкістю отримання, що дає можливість застосовувати метод в системах реального часу.

В роботі [14] наведені основні принципи і схеми організації перевезень дрібнопартійних вантажів у внутрішніх зонах обслуговування магістральних вузлів ієрархічної транспортної мережі. Обговорюються технічні та економічні аспекти обробки і транспортування вантажів. Проведено огляд задач маршрутизації та методів і алгоритмів їх вирішення. Запропоновано декілька математичних формулювань завдань побудови складальних маршрутів для перевезення дрібнопартійних вантажів з використанням необмеженого і обмеженого неоднорідного парку транспортних засобів і додатковими обмеженнями. Відзначається можливість вирішення сформульованих завдань за допомогою відомих пакетів змішаного і цілочисельного лінійного програмування.

В роботі [15] визначені підходи до моделювання бізнес-процесів: функціональне, об'єктно-орієнтоване та імітаційне моделювання. Імітаційне моделювання дозволяє відтворювати функціонування бізнес-процесу з урахуванням графіків робочого часу та наявності необхідної кількості ресурсів, що надає можливість аналізувати особливості виконання бізнес-процесів в умовах невизначеності внутрішнього та зовнішнього середовища, а також оцінювати реальний час їх виконання.

В роботі [16] описано переваги об'єднаної логіки імітаційного моделювання, що включає широкий спектр методологій і інструментів, що стикаються на рівні

загального погляду і міждисциплінарної термінологічної мови зі стратегічним управлінням, системним аналізом, програмної інженерії. Імітаційне моделювання здатне виступити як головна і найбільш ефективна робоча технологія системного аналізу, що застосовується при вирішенні широкої групи управлінських завдань.

В роботі [17] запропоновано математичну модель для дослідження функціонування інформаційної системи з використанням математичного апарату розширених мереж Петрі. Наведено результати моделювання роботи апаратних ресурсів як дискретної динамічної системи. Отримані результати показали, що розроблена динамічна модель інформаційної системи в термінах мережі Петрі, яка адекватно відображає роботу реальної системи, що дозволяє використовувати її для моделювання процесів в інформаційних системах і визначати раціональне завантаження.

В роботі [18] представлено ідею присвоєння ваги переходу, який буде використовуватися для зміни ймовірності виникнення паралельного переходу. Більш висока вага збільшує ймовірність стрільби, коли виникає невизначена ситуація.

В роботі [19] розглянуто моделювання та аналіз комп'ютерної мережі з використанням об'єктно-орієнтованої мережі Петрі. Мережа Петрі є систематичною графічною мовою з потужною функцією для опису і аналізу складних систем, що вимагають високу ступінь деталізації роботи системи. За допомогою математичного розвитку методів та прийомів аналізу мережа Петрі може використовуватись як для статичного структурного аналізу, так і для динамічного аналізу поведінки моделі. Технологія моделювання мережі Петрі може бути використана для імітації систем з функціями одночасності, асинхронності, розподілу та невизначеного паралелізму. Мережа Петрі стала найперспективнішим інструментом моделювання.

В роботі [20] описано доцільність динамічного розподілу ресурсів підприємства в залежності від зовнішніх умов. В умовах, коли ціна використання ресурсів висока, а інтенсивність робіт невисока, статичний розподіл ресурсів є економічно необґрунтованим. Петрі-об'єктний підхід надає можливість



моделювати проходження різних типів об'єктів через ресурси підприємства та враховувати при цьому не тільки час обробки, але й специфічні особливості використання ресурсів такі, як відмови обладнання, витрати палива, часткове зайняття ресурсу, одночасне використання ресурсів об'єктами різних типів. Це надає можливість формувати з ресурсів групи ресурсів, необхідних для виконання чергового завдання, з урахуванням витрат на їх транспортування до місця роботи. Після визначення групи ресурсів відбувається переміщення ресурсів у місце виконання роботи та поєднання динаміки відповідних об'єктів.

В роботі [2] запропоновано технологію використання програмного забезпечення Петрі-об'єктного моделювання систем для дослідження дискретно-подійних систем. Технологія ґрунтується на формалізованому описі динаміки функціонування елементів системи стохастичною мережею Петрі з багатоканальними переходами. Програмне забезпечення подано java-бібліотекою класів. Технологія Петрі-об'єктного моделювання, на відміну від інших технологій моделювання дискретно-подійних систем, поєднує в собі переваги аналітичного та імітаційного методів, надає можливість візуального програмування динаміки складних систем, забезпечує коректність алгоритму імітації та його швидкодію для моделей з великою кількістю елементів. Модель дискретно-подійної системи формується на основі використання стохастичної мережі Петрі для опису динаміки структурних елементів системи та об'єктно-орієнтованого підходу для опису структури системи. Поєднання нового формалізму з відповідним програмним забезпеченням створює технологію Петрі-об'єктного моделювання систем, що дозволяє: складати формальний опис динаміки дискретно-подійної системи на основі динаміки її елементів; створювати класи типових елементів зі схожою динамікою; розробляти структуру системи на основі множини конструктивних елементів та взаємозв'язках між ними; використовувати уніфікований опис динаміки як елементів, так і об'єктів управління; здійснювати перехід до більш високого рівня програмування моделі: від програмування елементів моделі до конструкції моделі, від програмування подій до конструювання динаміки системи з використанням мереж Петрі.

В роботі [21] описано бібліотеку Java-класів графічного модуля програмного забезпечення Петрі-об'єктної технології моделювання систем Stochastic Petri Net Simulator, використання якого забезпечує візуальне сприйняття мереж Петрі-об'єктів моделі та спрощує побудову та відлагодження динаміки функціонування Петрі-об'єктів.

В роботі [22] представлено інтелектуальний компонент візуального програмування стохастичних мереж Петрі, що являє собою вдосконалену версію однієї з бібліотек Java-класів програмного засобу Петрі-об'єктного моделювання дискретно-подійних систем. Цей компонент призначений для збереження моделей, побудованих за допомогою маніпулювання графічними об'єктами, у вигляді програмного коду мовою Java, а також відновлення візуальних моделей з програмного коду.

Інтелектуальний компонент планується використовувати під час розроблення іншого компонента програмного забезпечення Петрі-об'єктного моделювання, який дозволив би створювати візуальними засобами моделі систем вищого рівня та імітувати їхнє функціонування. Під моделями систем вищого рівня маються на увазі такі моделі, що складаються із великої кількості мереж Петрі. Також розроблений компонент може безпосередньо слугувати для швидкої побудови і модифікації простих стохастичних мереж Петрі, а також їхнього тиражування. Зручність у використанні компонента та відсутність необхідності знати мову Java роблять можливою роботу з імітаційними моделями користувачів, які не розуміються на розробці програмного забезпечення, а володіють лише базовими знаннями в галузі моделювання за допомогою мереж Петрі.

В роботі [23] представлено приклади моделювання систем вкладеними мережами Петрі. Цей підхід також орієнтований на поєднання фрагментів мереж Петрі в одну модель, проте суттєво відрізняється від Петрі-об'єктного підходу, оскільки не надає мережі Петрі властивостей об'єкта в термінах об'єктно-орієнтованої технології, і тому не надає можливості тиражування мереж Петрі з заданими властивостями, що суттєво впливає на швидкість розробки моделі та на швидкість імітації.

В роботі [33] запропоновано нове рішення, що дозволяє зменшити витрати на доставку замовлень у системі матеріального забезпечення військових підрозділів. В даній статті використовуються мережі Петрі для підготовки моделей систем. Ці моделі використовуються у генетичному алгоритмі для пошуку кращих маршрутів перевезення. Військове устаткування та ресурси для доставки товарів представляються у вигляді “позицій” (ресурсів) мереж Петрі. Зв’язки між військовими складами та частинами представляються у вигляді “переходів” мереж Петрі. Ці переходи мають пріоритет, який буде геном у генетичному алгоритмі. Екземпляр популяції являє собою список пріоритетів для всіх переходів у моделі. Селекція екземплярів популяції здійснюється через порівняння кількості витрат палива та загального часу затримки, що були отримані у результаті моделювання моделі екземпляру. Чим менша витрата палива та загальний час затримки, тим кращий екземпляр. Завдяки деталізації процесів доставки у мережі Петрі можна отримувати кращі маршрути доставки для транспортних засобів.

Нижче наведено список найбільш часто використовуваних способів вирішення завдання.

У таблиці 2.1 наведено аналіз алгоритмів вирішення VRP-задач

Таблиця 2.1 [24] Аналіз алгоритмів вирішення VRP-задач

Назва алгоритму	Тип алгоритму (евристичний, мета-евристичний, вичерпний пошук)	Вразливість до потрапляння в локальні екстремуми	Відносний час пошуку рішення (відносно інших алгоритмів)	Область пошуку рішень для кожного циклу алгоритму: локальна або глобальна
First Fit	Евристичний	-	Низький	-
Hill Climbing Algorithm	Мета-евристичний	Найбільш вразливий	Середній	Локальна
Tabu Search	Мета-евристичний	Вразливий	Середній	Локальна

Simulated Annealing	Мета-евристичний	Вразливий	Середній	Локальна
---------------------	------------------	-----------	----------	----------

Продовження таблиці 2.1

Назва алгоритму	Тип алгоритму (евристичний, мета-евристичний, вичерпний пошук)	Вразливість до потрапляння в локальні екстремуми	Відносний час пошуку рішення (відносно інших алгоритмів)	Область пошуку рішень для кожного циклу алгоритму: локальна або глобальна
Late Acceptance Hill Climbing Algorithm	Мета-евристичний	Вразливий	Середній	Локальна
Step Counting Hill Climbing Algorithm	Мета-евристичний	Вразливий	Середній	Локальна
Genetic Algorithm	Мета-евристичний	Невразливий	Високий	Глобальна
Random Restart Hill Climbing Algorithm	Мета-евристичний	Найбільш вразливий	Середній	Локальна
Local Beam Search	Мета-евристичний	Найбільш вразливий	Середній	Локальна
Brute Force	Вичерпний пошук	Невразливий	Дуже високий	Глобальна

Branch and Bound	Вичерпний пошук	Невразливий	Дуже високий	Глобальна
------------------	-----------------	-------------	--------------	-----------

Продовження таблиці 2.1

Назва алгоритму	Тип алгоритму (евристичний, мета-евристичний, вичерпний пошук)	Вразливість до потрапляння в локальні екстремуми	Відносний час пошуку рішення (відносно інших алгоритмів)	Область пошуку рішень для кожного циклу алгоритму: локальна або глобальна
Branch and Cut	Вичерпний пошук	Невразливий	Дуже високий	Глобальна
Great Deluge Algorithm	Мета-евристичний	Вразливий	Середній	Локальна

Бачимо, що є 4 невразливих до потрапляння у локальний екстремум алгоритми, однак для реальних задач відносний час пошуку рішення найменший у генетичного алгоритму. Отже, для розв'язання нашої задачі ми обираємо генетичний алгоритм.

## 2.4 Розробка методу розв'язання задачі

Серед підходів до побудови та відображення моделей бізнес-процесів варто виділити такі: функціональне моделювання, об'єктно-орієнтоване моделювання, імітаційне моделювання [15].

За функціонального підходу головним елементом є функція (бізнес-функція, дія, операція), система зображується у вигляді ієрархії взаємозалежних функцій. Моделювання бізнес-процесів зводиться до побудови їх схеми у вигляді послідовності кроків, а саме, виконання бізнес-функцій, з якими пов'язані матеріальні й інформаційні об'єкти, ресурси, що використовуються, та

організаційні одиниці. Перевагою такого підходу є наочність послідовності та логіки операцій у бізнес-процесах підприємства, а недоліком – деяка суб'єктивність у деталізації операцій.

За об'єктно-орієнтованого підходу система розбивається на набір об'єктів, що тотожні до об'єктів реального світу та взаємодіють між собою за допомогою передачі повідомлень. Об'єктами в моделюванні бізнес-процесів є певні предмети або реальні сутності, наприклад, клієнт, замовлення, послуга тощо. Кожен об'єкт характеризується набором атрибутів, значення яких описують його стан, а також набором операцій для перевірки та зміни цього стану.

Об'єктно-орієнтований підхід передбачає спочатку виділення об'єктів, а потім визначення тих дій, в яких вони беруть участь. При цьому розрізняють пасивні об'єкти (матеріали, документи, обладнання), над якими виконуються дії, та активні об'єкти (організаційні одиниці, виконавці, програмне забезпечення), які здійснюють дії. Такий підхід дозволяє більш об'єктивно виділити операції над об'єктами і вирішити завдання щодо доцільності використання цих об'єктів. Недолік об'єктно-орієнтованого підходу полягає у меншій наочності [15].

Розглянуті підходи до моделювання бізнес-процесів можливо об'єднати у комплексний підхід аналітичного (статичного) моделювання.

Імітаційне моделювання передбачає побудову моделей бізнес-процесів за допомогою програмних засобів для імітації їх виконання у часі. Такий підхід дозволяє імітувати виконання бізнес-процесів з урахуванням графіків робочого часу та наявності необхідної кількості ресурсів, що дозволить проаналізувати особливості виконання бізнес-процесів в умовах невизначеності внутрішнього та зовнішнього середовища, оцінити реальний час їх виконання.

Імітаційна модель включає у себе структурну модель процесу та сукупність аналітичних моделей, пов'язаних між собою. Математичною основою цих моделей є нелінійні диференційні рівняння, ймовірнісні методи, методи автоматного моделювання тощо.

Імітаційне моделювання – це метод дослідження, при якому досліджувана система замінюється моделлю, яка з достатньою точністю описує реальну систему,

і з нею проводяться експерименти з метою отримання інформації про цю систему. Експериментування з моделлю називають імітацією (імітація – це збагнення суті явища, не вдаючись до експериментів на реальному об'єкті)[28].

Імітаційне моделювання – це окремий випадок математичного моделювання. Існує клас об'єктів, для яких з різних причин не розроблені аналітичні моделі, або не розроблені методи розрахунку отриманої моделі. В цьому випадку математична модель замінюється імітатором або імітаційною моделлю.

Імітаційне статистичне моделювання являє собою чисельний метод проведення на ЕОМ обчислювальних експериментів з математичними моделями, що імітують поведінку реальних об'єктів, процесів і систем у часі протягом заданого періоду.

Імітаційне моделювання – це сукупність методів алгоритмізації функціонування об'єктів досліджень, програмної реалізації алгоритмічних описів, організації, планування та виконання на ЕОМ обчислювальних експериментів з математичними моделями.

Переваги імітаційного моделювання [28]:

- візуалізація модельованого процесу допомагає краще зрозуміти взаємодію окремих частин проекту. Вона набагато інформативніша, багато помилок та недоліків процесу виявляють саме за допомогою візуалізації;
- модельний час – невід'ємна частина будь-якої імітаційної моделі. Всі процеси моделі так чи інакше відбуваються у часі, всі складові системи взаємодіють у часі. Можливість прискорити чи сповільнити модельний час відкриває великі аналітичні та оптимізаційні можливості. Наприклад, ми розробили логіку роботи системи упродовж однієї доби, прискоривши модельний час ми можемо побачити результати роботи за добу, місяць, рік;
- при моделюванні реальних процесів майже немає лінійних алгоритмів. Процеси відбуваються з різними затримками у часі, у випадковій послідовності і мають різні наслідки. Це все є випадковими процесами, можливість їх реалізації робить модель більш реалістичною;

- можливість керування вхідними параметрами до початку роботи моделі чи у процесі роботи – одна із ключових переваг використання імітаційного моделювання для аналізу систем та процесів. Це дає можливість визначити опимальні параметри, за яких досягається максимальна ефективність роботи системи (процесів), визначити залежність між вхідними та вихідними параметрами;
- можливість надати результати роботи у різному вигляді (анімація, графіки, експорт у зовнішні файли) дозволяє інтегрувати модель в уже існуючу інформаційну систему, забезпечує високі презентаційні можливості, чого не можна сказати про таблиці та цифри;
- висока адекватність між фізичною суттю описуваного процесу і його моделлю;
- можливість описати складну систему на досить високому рівні деталізації;
- значно більше областей дослідження, ніж аналітичне моделювання;
- відсутність обмежень відображення в моделі залежностей між параметрами моделі;
- можливість оцінки функціонування системи не тільки в стаціонарних станах, але і в перехідних режимах (процесах) ;
- одержання значної кількості даних про досліджуваний об'єкт (закон розподілу випадкових величин, числові значення абсолютні та відносні, і багато іншого) ;
- найбільш раціональне ставлення «результат - витрати» по відношенню до аналітичного і фізичного моделювання.

Комбіновані методи моделювання [28]:

- модель представляється у комбінації методів моделювання;
- найбільш широко застосовуються імітаційно-аналітичні моделі;
- ступінь застосування методів моделювання визначає дослідник, виходячи з поставлених завдань, наявних ресурсів (знань, комп'ютера) і часу на проведення дослідницької роботи.



Імітація, як метод вирішення нетривіальних завдань, отримала початковий розвиток у зв'язку із створенням ЕОМ в 1950-х – 1960-х роках. Одним з основних видів імітаційного моделювання є статистичне імітаційне моделювання. Статистична модель випадкового процесу – це алгоритм, за допомогою якого імітують роботу складної системи, схильною випадковим збурень; імітують взаємодію елементів системи, що носять імовірнісний характер.

Області застосування імітаційного моделювання: телекомунікаційні системи та мережі, бізнес процеси, бойові дії, динаміка населення, ІТ-інфраструктура, математичне моделювання історичних процесів, логістика, пішохідна динаміка, вуличний рух, виробництво, ринок і конкуренція, сервісні центри, управління проектами, економіка охорони здоров'я, екосистеми.

При реалізації на ЕОМ статистичного імітаційного моделювання виникає задача отримання на ЕОМ випадкових числових послідовностей із заданими ймовірнісними характеристиками.

Метод статистичного імітаційного моделювання – це спосіб вивчення складних процесів і систем, що піддаються випадковим збуренням, за допомогою імітаційних моделей.

Методика статистичного моделювання складається з таких етапів [28]:

- моделювання на ЕОМ псевдовипадкових послідовностей із заданою кореляцією і законом розподілу ймовірностей (метод Монте-Карло), що імітують на ЕОМ випадкові значення параметрів при кожному випробуванні;
- перетворення отриманих числових послідовностей на імітаційних математичних моделях;
- статистична обробка результатів моделювання.

Універсального загального способу побудови адекватних моделей не існує.

Адекватність (від лат. *Adaequatus* – прирівняний, рівний) моделі – збіг властивостей (функцій / параметрів / характеристик і т. п.) моделі і відповідних властивостей модельованого об'єкта. Адекватністю називається збіг моделі з модельованою системою у відношенні мети моделювання.

Парадигма (від грец. Παράδειγμα, «приклад, модель, зразок») – загальноприйнято розуміти під терміном парадигма – метод прийняття рішень на основі моделі. Наприклад, людина приймає рішення на основі своєї внутрішньої моделі світу. Парадигма моделювання (програмування) визначає те, в яких термінах програміст описує логіку програми. Імітаційні моделі – це скоріше об'єкти мистецтва, ніж стандартні програми.

Дискретно-подієве моделювання – підхід до моделювання, що пропонує абстрагуватися від неперервної природи подій і розглядати тільки основні події модельованої системи, такі як: «очікування», «обробка замовлення», «рух з вантажем», «розвантаження» та інші. Дискретно-подієве моделювання найбільш розвинене і має величезну сферу застосувань – від логістики та систем масового обслуговування до транспортних і виробничих систем. Цей вид моделювання найбільш підходить для моделювання процесів в телекомунікаційних мережах. Заснований Джеффрі Гордоном в 1960х роках.

Як в системі масового обслуговування (СМО) в телекомунікаційній системі протікають наступні процеси:

- надходження заявок;
- вибір обслуговуючого пристрою;
- обслуговування;
- звільнення.

Для відображення цих процесів в імітаційній моделі мають бути засоби, що дозволяють імітувати:

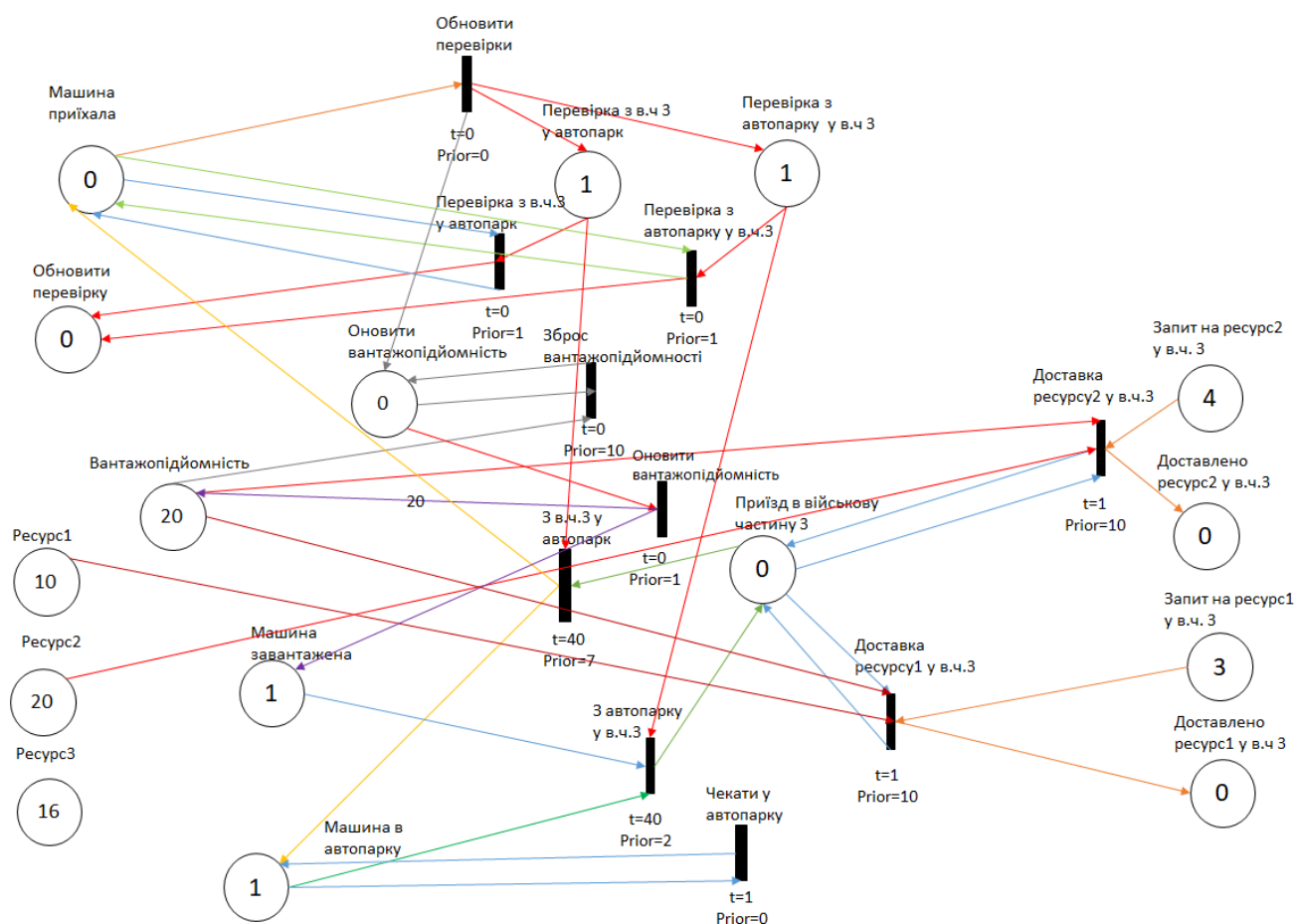
- вхідний потік заявок;
- управління / розподілом заявок;
- обслуговування;
- вихідний потік заявок;
- статистичну обробку вхідних і вихідних параметрів.

Військове устаткування та ресурси (транспортні засоби) для доставки товарів представляються у вигляді позицій мереж Петрі. Шляхи між військовими складами та частинами представляються у вигляді переходів мереж Петрі. Ці переходи

мають пріоритет, який буде генотипом у генетичному алгоритмі. Найменша мережа Петрі представляє собою транспортний засіб, який рухається між пунктами призначення, які потребують певного військового устаткування. Транспортний засіб рухається між пунктами в залежності від пріоритетів переходів і доставляє військове устаткування у ці пункти. Оскільки транспортний засіб має обмежену вантажопідйомність та обмеження на одне пересування з кожної пари пунктів, то врешті-решт транспортний засіб повернеться на базу для завантаження нових замовлень. Кожен склад може мати в своєму розпорядженні декілька транспортних засобів, а значить, мережі Петрі транспортних засобів мають спільне військове устаткування для виконання замовлень.

На рисунку 2.1 зображено приклад фрагменту мережі Петрі для транспортного засобу доставки замовлень для військової частини.

Дуги різного кольору використовуються на рисунку лише з метою кращого сприйняття взаємозв'язків елементів мережі Петрі.



## Рисунок 2.1 Приклад фрагменту мережі Петрі для транспортного засобу доставки замовлень для військової частини [33]

Моделювання починається з переходу “З автопарку у в.ч.3 (військова частина)”, забираючи маркери у позицій “Машина в автопарку” та “Машина завантажена”. Далі маркер переходить у позицію “Приїзд в військову частину3”. Оскільки пріоритети “Доставка ресурсу 2 у в.ч.3” та “Доставка ресурсу 1 у в.ч.3” більші ніж перехід “З в.ч.3 у автопарк”, то вони виконуються першими, тип самим моделюючи доставку ресурсу 1 та ресурсу 2 у військову частину 3. Після здійснення доставки ресурсів маркер з позиції “Приїзд в військову частину3” переходить у перехід “З в.ч. 3 у автопарк”. Потім з переходу “З в.ч. 3 у автопарк” маркери переходять у позиції “Машина в автопарку” та “Машина приїхала”. Далі спрацьовують усі переходи, які починаються на слово “Перевірка”. Позиції “Перевірка з в.ч.3 у автопарк” та “Перевірка з автопарку у в.ч.3” створені для того, щоб запобігти циклам у маршрутах перевезення військового устаткування, оскільки пріоритети переходів між військовими частинами та автопарком на початку моделювання визначаються випадковим чином. Далі спрацьовує перехід “Обновити перевірки”, що передає маркери у всі позиції “Перевірки” та позицію “Обновити вантажопідйомність”. Перехід “Зброс вантажопідйомності” дозволяє обнулити невикористану перехід “Вантажопідйомність”, яка можливо не була використана у ході перевезень. Потім спрацьовує перехід “Обновити вантажопідйомність”, після спрацювання якого 20 маркерів переходять у позицію “Вантажопідйомність”, а 1 маркер у позицію “Машина завантажена”. Таким чином ми повернулися у початкове положення. Також у схемі присутній перехід “Чекати у автопарку”. Цей перехід має пріоритет 0. За допомогою програмних засобів, якщо всі замовлення виконані або на складі закінчилися необхідні ресурси, то переходу “Чекати у автопарку” присвоюється пріоритет 100, що унеможливорює недоцільні пересування транспортного засобу по військовим частинам. Якщо у позиціях “Ресурси” з’являються маркери, то переходу “Чекати у автопарку” знову присвоюється пріоритет 0 і транспортні засоби можуть знову розвозити замовлення.

На рисунку 2.2 зображено приклад транспортних сполучень між автопарком та військовими частинами, на якому вказано час на дорогу між ними. А на рисунку 2.3 це представлено мережею Петрі.

Дуги різного кольору використовуються на рисунку лише з метою кращого сприйняття взаємозв'язків елементів мережі Петрі. Фрагмент з перевірки на цикли та оновлення вантажопідйомності опущено.

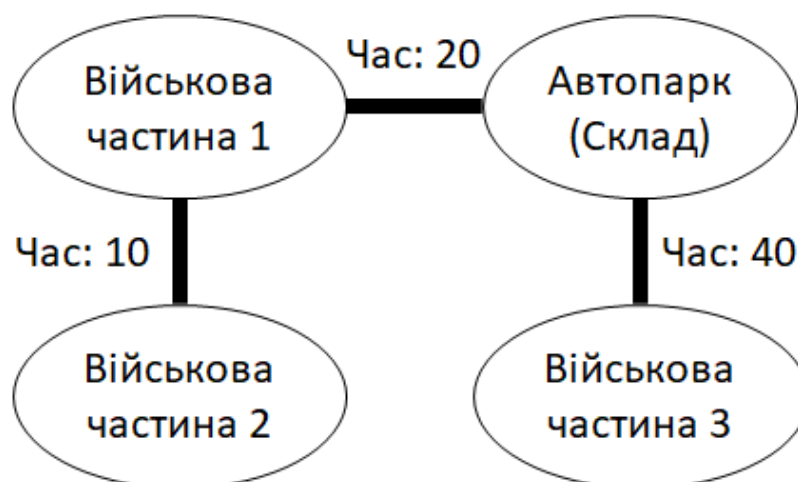
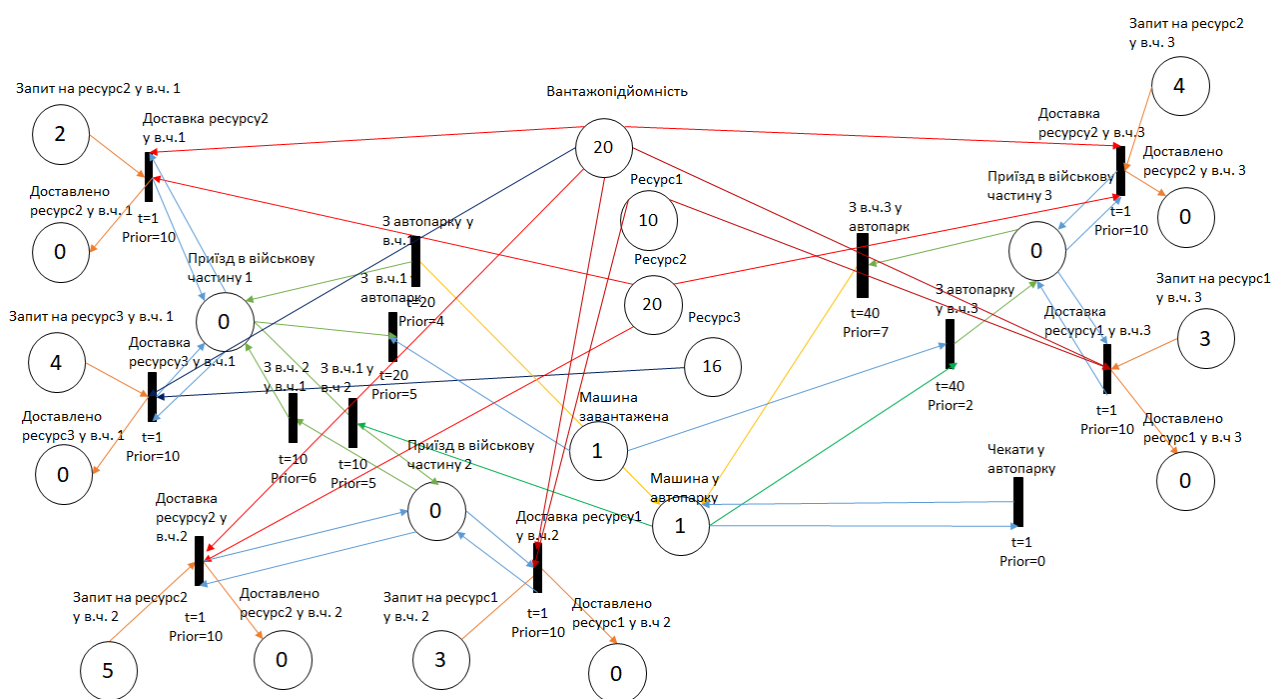


Рисунок 2.2 Приклад транспортних сполучень між автопарком та військовими частинами [33]



### Рисунок 2.3 Представлення мережею Петрі транспортних сполучень між автопарком та військовими частинами [33]

Таким чином представлено мережу Петрі для одного транспортного засобу. Однак автопарк може мати у своєму розпорядженні безліч машин. Тоді необхідно визначити усі позиції “Ресурс”, “Запит на ресурс” та “Доставлено ресурс у в.ч.” як спільні для всіх транспортних засобів, які належать одному автопарку (складу) [33].

Для реалізації більш вищих рівнів доставки, де автопарк тактичного складу розвозить ресурси у оперативні склади та автопарк стратегічного складу розвозить ресурси у тактичні склади використовується аналогічна схема.

Для пошуку кращого рішення застосовується генетичний алгоритм, де в процесі моделювання отримаємо кращі рішення, які представляють собою необхідну кількість машин у кожному складі та маршрути розвезення військового устаткування для кожної машини.

Екземпляр популяції являє собою кількість машин у кожному складі та масив пріоритетів для всіх переходів у моделі. Селекція екземплярів популяції здійснюється через порівняння кількості витрат палива та загального часу затримки, що були отримані у результаті моделювання моделі екземпляру. Чим менші витрати палива та загальний час затримки, тим кращий екземпляр.

### 2.5 Розробка алгоритму розв’язання

Нижче наведено алгоритм розв’язання задачі [33].

1. Введення географічних координат військових складів та військових частин.
2. Введення військового устаткування для військових складів.
3. Введення доступного автопарку для всіх військових складів.
4. Введення дорожніх сполучень між військовими складами та військовими частинами.
5. Введення запитів на військове устаткування для військових частин.
6. Введення глибини генетичного алгоритму ( $N$ ) ( $N > 1$ ).
7. Введення початкової кількості популяції для генетичного алгоритму( $P$ ) ( $P > 0$ ;  $P \% 2 = 0$ ).

8. Генерація вхідних параметрів початкової популяції готових рішень ( $P$ ).

9. Створення моделей екземплярів початкової популяції транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах з використанням мереж Петрі.

10. Моделювання екземплярів початкової популяції транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах.

11. Вибір кращих  $P/2$  екземплярів популяції.

12. Схрещування кращих екземплярів і генерація нової популяції у кількості  $P$ .

13. Мутація деяких екземплярів нової популяції.

14. Створення моделей екземплярів нової популяції транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах з використанням мереж Петрі.

15. Моделювання екземплярів нової популяції транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах.

16. Отримати значення цільової функції найкращого екземпляру нової популяції  $b_i$ , де  $i = \overline{0, N}$  – номер популяції, а  $b_0 = 0$

17. Зменшення глибини генетичного алгоритму на один крок ( $N--$ ).

18. Якщо  $N > 0$  та  $b_i - b_{i-1} > e$ , то повернутися до кроку 11, якщо ні, то крок 19.

19. Вивести найкращий екземпляр популяції.

## 2.6 Результати досліджень ефективності методу

У таблиці 2.2 наведені результати експериментального дослідження моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах для 16 оперативних складів, які використовують 32 машини [32].

Проаналізувавши дані таблиці можна дійти до висновку, що чим більша початкова популяція та більша кількість ітерацій генетичного алгоритму, тим краще значення цільової функції. Можливо, якщо скористатися послугами дата-центру та збільшити початкову популяцію та кількість ітерацій генетичного алгоритму, то значення цільової функції ще більше покращиться, а час пошуку

рішення суттєво зменшиться, що дозволить отримувати готові маршрути в реальному часі.

Цікавим є той факт, що якщо цільові функції батьків майже однакові або дуже різні, то висока вірогідність того, що у всіх дітей цільова функція стає гірша за обох батьків.

Однак, якщо цільові функції батьків не дуже різні, то зазвичай один нащадок стає кращим за обох батьків, один нащадок стає гіршим за обох батьків, а два інших нащадки отримують значення цільової функції в діапазоні значень батьків.

Таблиця 2.2. Результати експериментального дослідження моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах для 16 оперативних складів, які використовують 32 машини [32]

Коефіцієнти важливості економії палива та вчасної доставки замовлень 0,7; 0,3			Коефіцієнти важливості економії палива та вчасної доставки замовлень 0,3; 0,7		
Кількість початкової популяції	Кількість ітерацій генетичного алгоритму	Найкращий значення цільової функції	Кількість початкової популяції	Кількість ітерацій генетичного алгоритму	Найкращий значення цільової функції
8	6	30512	8	6	13203
8	8	30279	8	8	12982
8	10	29385	8	10	12985
8	12	30296	8	12	12994
16	6	30034	16	6	12735
16	8	30030	16	8	13094
16	10	29805	16	10	12986
16	12	29804	16	12	12874
32	6	29387	32	6	12714
32	8	30029	32	8	<b>12710</b>
32	10	<b>27871</b>	32	10	12736
	<b>MIN</b>	<b>27871</b>		<b>MIN</b>	<b>12710</b>

Висновки до розділу

В даному розділі описано змістовну постановку задач, вхідні та вихідні дані. Представлена математична модель. Проведено огляд інших методів розв'язання. Представлено свій метод розв'язання задачі. Описані переваги використання



стохастичних мереж Петрі. Розроблено алгоритм розв'язання задачі. Наведені результати дослідження.

## 3 ОПИС ПРОГРАМНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 3.1 Засоби розробки

Для створення програмного продукту було обрано наступні засоби:

Середовище розробки: IntelliJ Idea.

Найрозумніша і зручне середовище розробки для Java, що включає підтримку всіх останніх технологій і фреймворків. IntelliJ IDEA надає інструменти для продуктивної роботи і ідеально підходить для створення комерційних, мобільних і веб-додатків.

На сьогодні одне із найоптимальніших середовищ розробки для мови програмування Java. Має багато функцій, що полегшують рутинну роботу програміста. IntelliSense, в даному середовищі розробки, одне з кращих додатків для завершення коду серед існуючих аналогів, що відіграє важливу роль у швидкому та якісному написанні коду [25].

Мова програмування: Java.

Java – кросплатформна мова програмування. Платформа Java зараз розвинена настільки, що дозволяє вирішувати практично всі прикладні завдання, які не потребують низькорівневої взаємодії з апаратурою. Java відома гарною надійністю роботи серверних додатків, зручний механізм багатопоточності полегшує створення додатків.

Програми на Java транслуються в байт-код Java, який виконується віртуальною машиною Java (JVM) - програмою, обробній байтовий код і передавальній інструкції обладнанню як інтерпретатор [26].

Перевагою подібного способу виконання програм є повна незалежність байт-коду від операційної системи і устаткування, що дозволяє виконувати Java-додатки на будь-якому пристрої, для якого існує відповідна віртуальна машина. Іншою важливою особливістю технології Java є гнучка система безпеки, в рамках якої виконання програми повністю контролюється віртуальною машиною. Будь-які операції, які перевищують встановлені повноваження програми (наприклад, спроба несанкціонованого доступу до даних або з'єднання з іншим комп'ютером), викликають негайне переривання.

Часто до недоліків концепції віртуальної машини відносять зниження продуктивності. Ряд удосконалень збільшив швидкість виконання програм на Java :

- застосування технології трансляції байт-коду в машинний код безпосередньо під час роботи програми (JIT-технологія) з можливістю збереження версій класу в машинному коді;
- широке використання переносних орієнтованого коду (native-код) в стандартних бібліотеках;
- апаратні засоби, що забезпечують прискорену обробку байт-коду (наприклад, технологія Jazelle, підтримувана деякими процесорами архітектури ARM).

Основна проблема внутрішньої корпоративної розробки - подолання хаотичності дій окремих розробників і команд розробників - в значній мірі вирішується за допомогою властивого Java-технологіям жорсткого підходу до стандартизації та реалізації програмного інтерфейсу.

Java ідеально підходить для створення проміжного ПЗ, чому особливо сприяють такі якості Java, як кросплатформність і розвинені комунікаційні засоби.

Java коментарі необхідні для складання та оформлення документації відіграють значний вплив на зручність для розробника. Інструмент називається javadoc. Обробляючи файл з вихідним текстом програми, він виділяє позначену документацію з коментарів і пов'язує з іменами відповідних класів або методів. Таким чином, витративши мінімум зусиль на оформлення коментарів, можна отримати бажану документацію до програми.

Для вирішення поставлених задач було розроблено пакет MilitaryLogistics, який у свою чергу використовує бібліотеку класів PetriObj [29]. Нижче описано основні класи пакету MilitaryLogistics.

На рисунку 3.1 зображено ключові класи, які відповідають за створення PetriNet, що в свою чергу використовується для моделювання роботи транспортної системи перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах.

Клас PetriNetLibrary створює Петрі-об'єкти транспортних засобів. Класи OperationalWarehouse, TacticalWarehouse, StrategicWarehouse наслідуються від

класу PetriNetLibrary та відповідають оперативному, тактичному та стратегічному складам з автопарками відповідно.

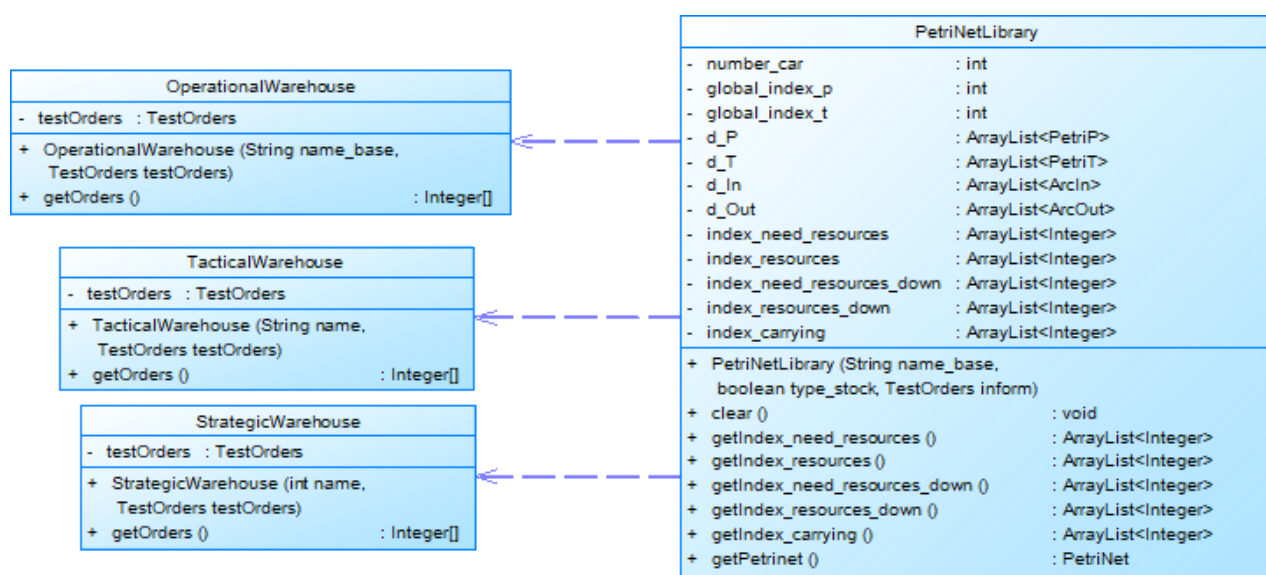


Рисунок 3.1 Класи які відповідають за створення PetriNet

На рисунку 3.2 зображено керуючі класи, які створюють склади та військові частини на карті. MainFrame – головний клас з якого починається робота програми. Клас Stock представляє собою військовий об’єкт, що зберігає в собі інформацію про ресурси на складі або замовлення ресурсів. TopographicMapPanel представляє собою панель, на якій відображається карта, військові об’єкти класу Stock та дорожні сполучення між ними.

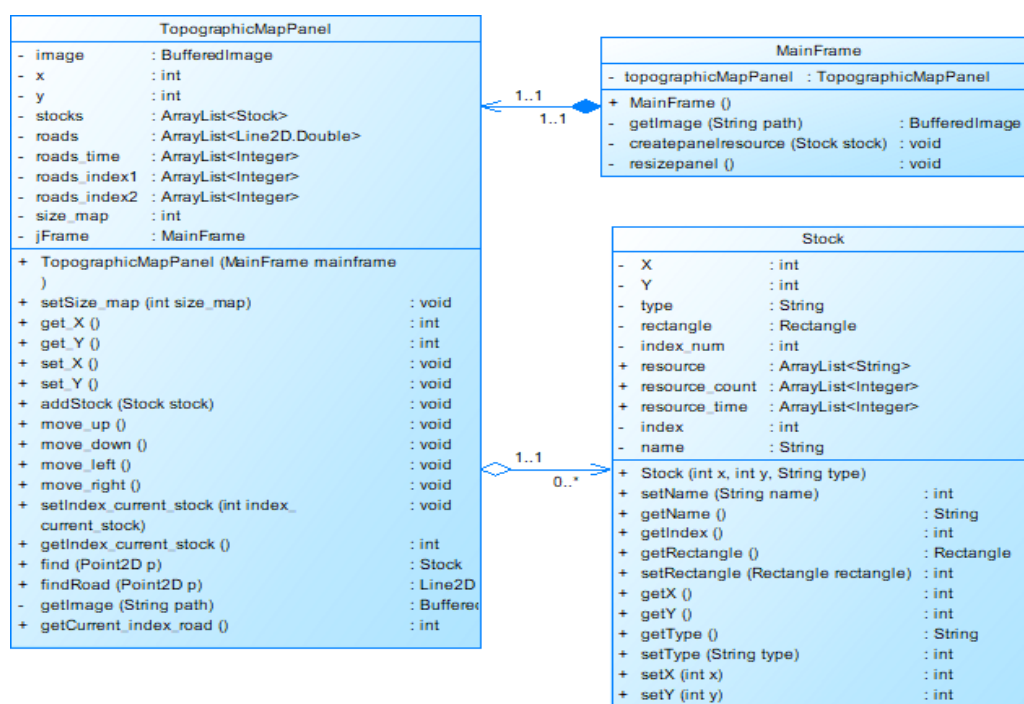


Рисунок 3.2 Керуючі класи

На рисунку 3.3 зображено класи моделювання системи транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. Клас `TopographicMapPanel` передає параметри для створення моделі у клас `PetriNetworkSimulation`, який у свою чергу генерує мережі Петрі транспортних засобів для оперативних, тактичних та стратегічних складів і запускає процес моделювання системи транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. Клас `RouteFrame` видає результати моделювання системи транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах.

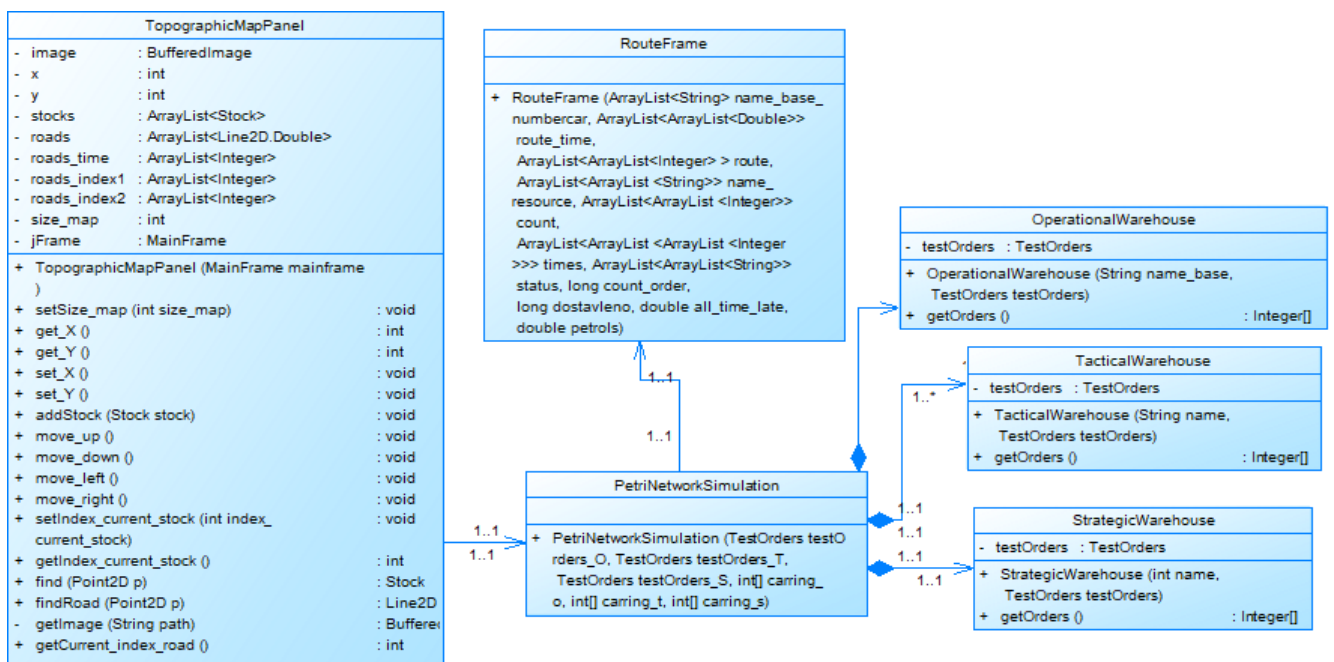


Рисунок 3.3 Класи моделювання системи транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах

На рисунку 3.4 зображені класи для роботи генетичного алгоритму. Клас `GeneticAlgorithmCandidate` зберігає в собі усі параметри для генерації моделі системи транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. У класі `GeneticAlgorithm` виконуються операції відбору кращих екземплярів (наборів параметрів), схрещування та селекції. Клас `GeneticAlgorithm` передає у клас `PetriNetworkSimulation` екземпляри для моделювання та отримує значення цільової функції для кожного екземпляру. Чим менше значення цільової функції тим більша вірогідність екземпляру перейти у наступну ітерацію генетичного алгоритму та дати потомство.

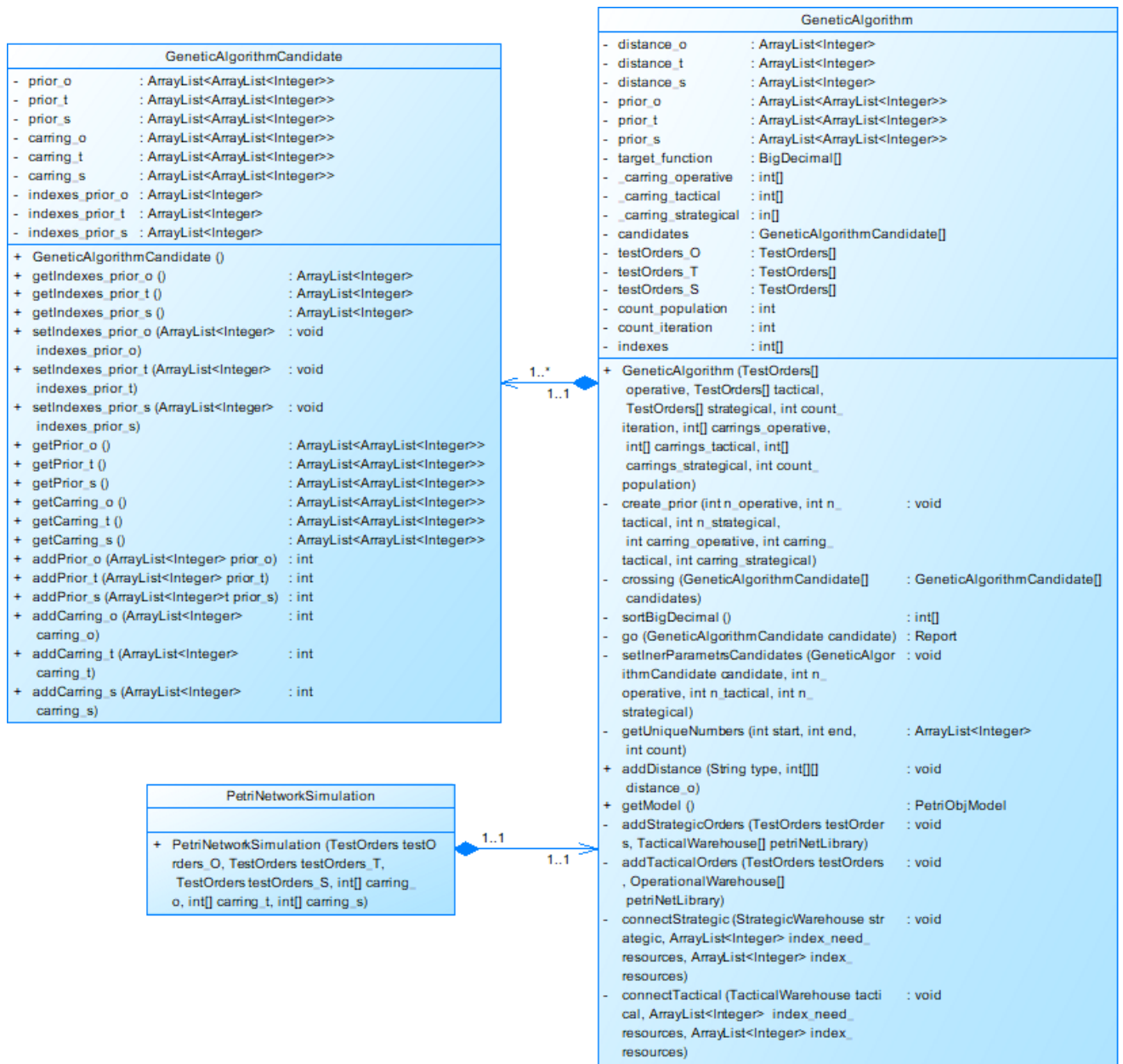


Рисунок 3.4 Класи для роботи генетичного алгоритму

### 3.2 Архітектура програмного забезпечення

У таблиці 3.1 наведено класи, що використовуються для пошуку маршрутів, які б зменшували використання пального на доставку та зменшували загальний час затримки доставки військових ресурсів.

Таблиця 3.1 Класи, що використовуються для пошуку маршрутів, які б зменшували використання пального на доставку та зменшували загальний час затримки доставки військових ресурсів.

Клас	Відповідальність
Військовий логіст	Створення військових частин та складів, створення доріг між військовими частинами та складами, моделювання системи транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах
MainFrame	Головна форма
Stock	Клас військового об'єкту
TopographicMapPanel	Панель для карти та військових об'єктів
OperationalWarehouse	Клас Петрі-об'єкту для оперативного складу
TacticalWarehouse	Клас Петрі-об'єкту для тактичного складу
StrategicWarehouse	Клас Петрі-об'єкту для стратегічного складу
PetriNetworkSimulation	Клас для пошуку кращих маршрутів з використанням генетичного алгоритму
Result_OrdersFrame	Вивід статистики виконаних замовлень
Result_RoutesFrame	Вивід маршрутів всіх транспортних засобів
RouteFrame	Вивід детальної інформації про один окремий маршрут

На рисунку 3.1 наведено схему структурних станів системи для пошуку маршрутів доставки.

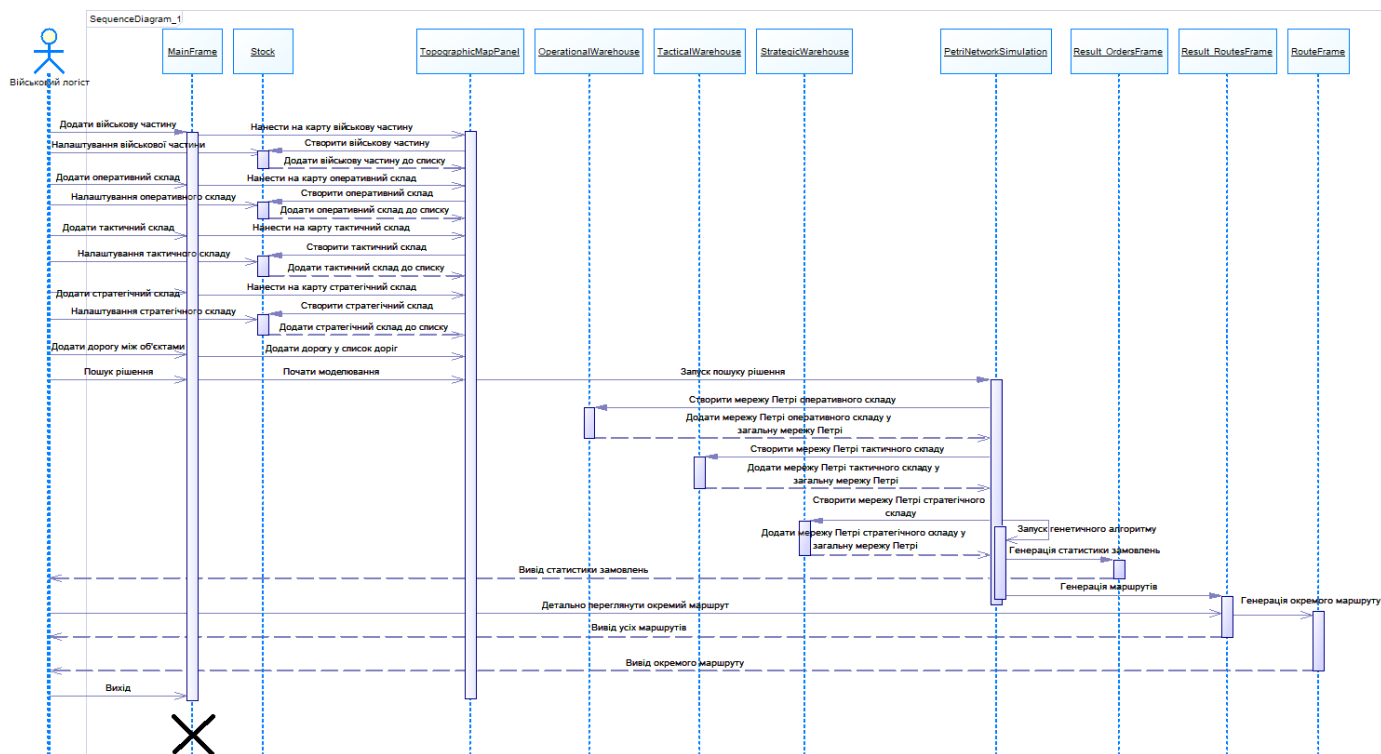


Рисунок 3.1. Схема структурних станів системи для пошуку маршрутів доставки

На рисунках 3.2 наведено схему структурну класів програмного забезпечення.

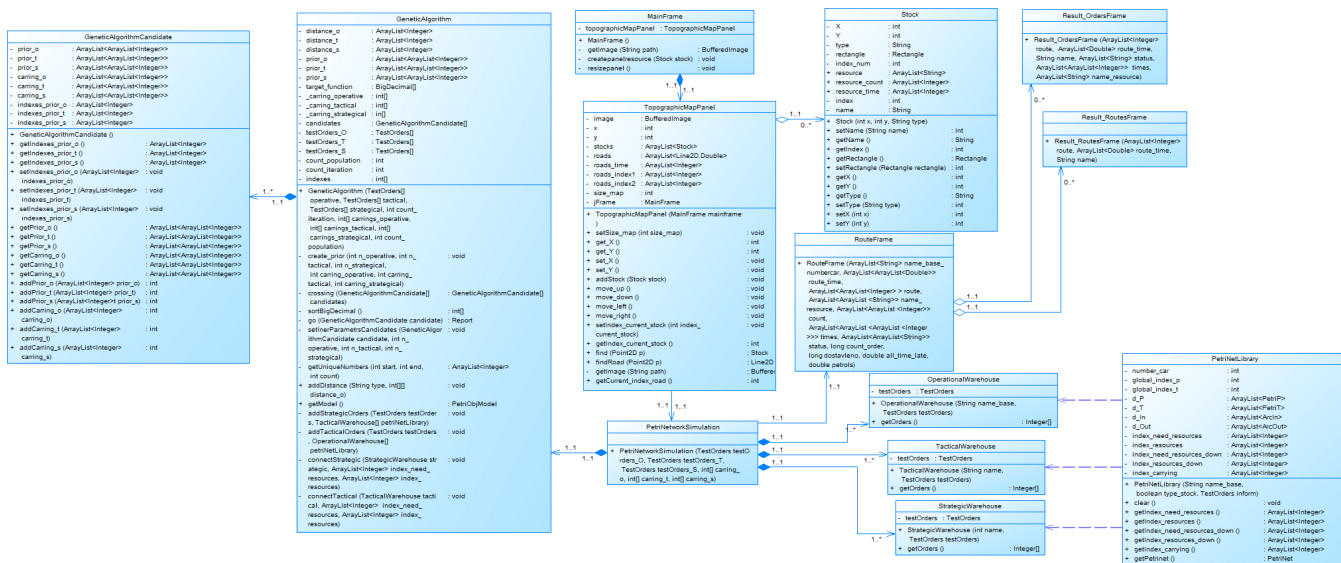


Рисунок 3.2 Схема структурна класів програмного забезпечення

На рисунку 3.3 наведено схему структурних компонентів.

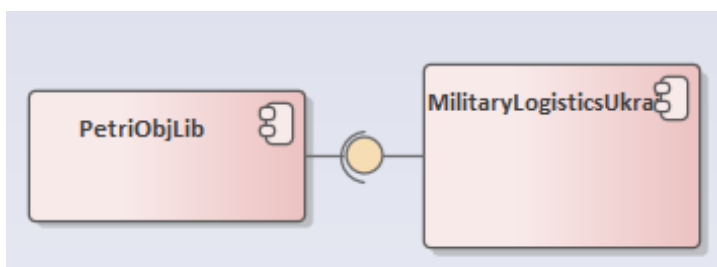


Рисунок 3.3 Схема структурних компонентів



### 3.3 Інструкція користувача

На рисунку 3.4 зображено головне вікно програми. Зліва зображено топографічна карта, на яку можуть наноситися військові об'єкти та дороги між ними. Також зліва є кнопки з зображеннями стрілок, при натисканні на них можна пересуватися по карті. Посередині зображено кнопки: “Стратегічний”, “Тактичний”, “Оперативний”, “Військова частина”, “Дорога”. При натисканні на одну з кнопок: “Стратегічний”, “Тактичний”, “Оперативний”, “Військова частина” можна наносити на карту військовий об'єкт, який відповідає стратегічному складу, тактичному складу, оперативному складу та військовій частині. При натисканні на кнопку “Дорога” можна додавати дороги між військовими об'єктами. Необхідно натиснути на один, а потім на другий військовий об'єкт. Слайдер “Масштаб” дозволяє змінювати масштаб карти. При натисканні на клавіатурі кнопок “Z” та “X” відповідно зменшується або збільшується масштаб карти. Справа зображено два комбобокси, які відповідають типу військового ресурсу та військовому ресурсу, які додаються до обраного військового об'єкту. Якщо обраний поточний об'єкт є військовою частиною, то додається замовлення у цю військову частину, а інакше додається ресурс складу.

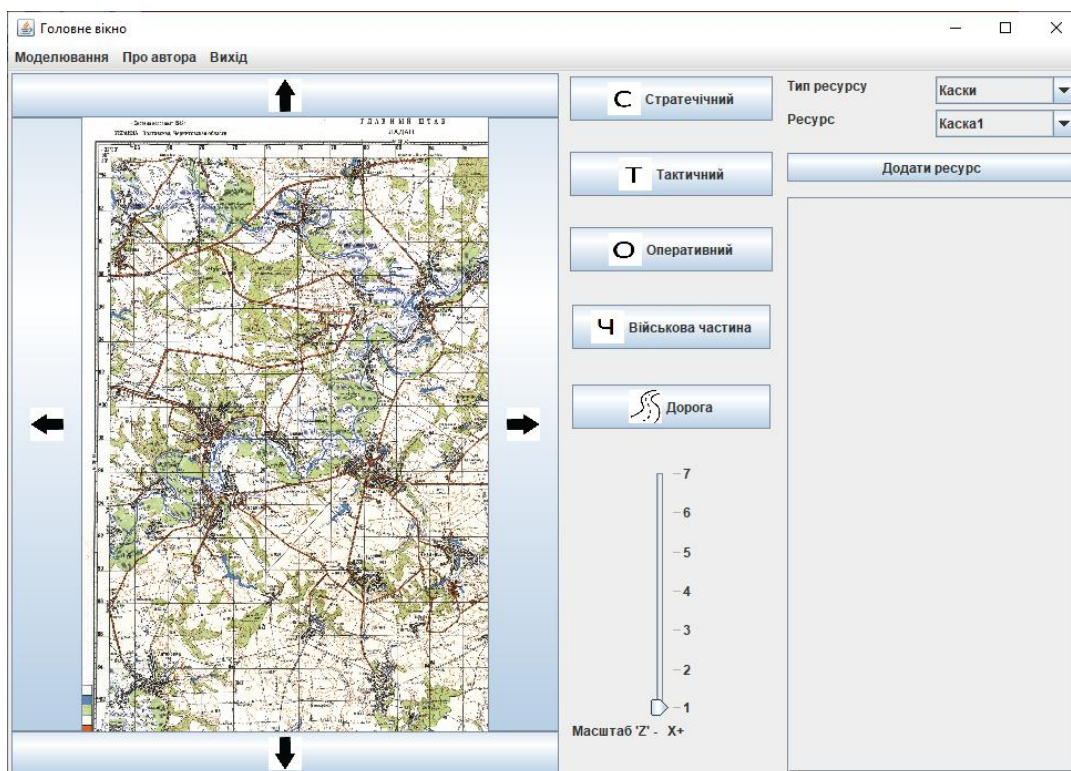


Рисунок 3.4 Головне вікно програми

Далі представлено покрокова інструкція користування програмою.

На рисунку 3.5 зображено збільшення масштабу топографічної карти.

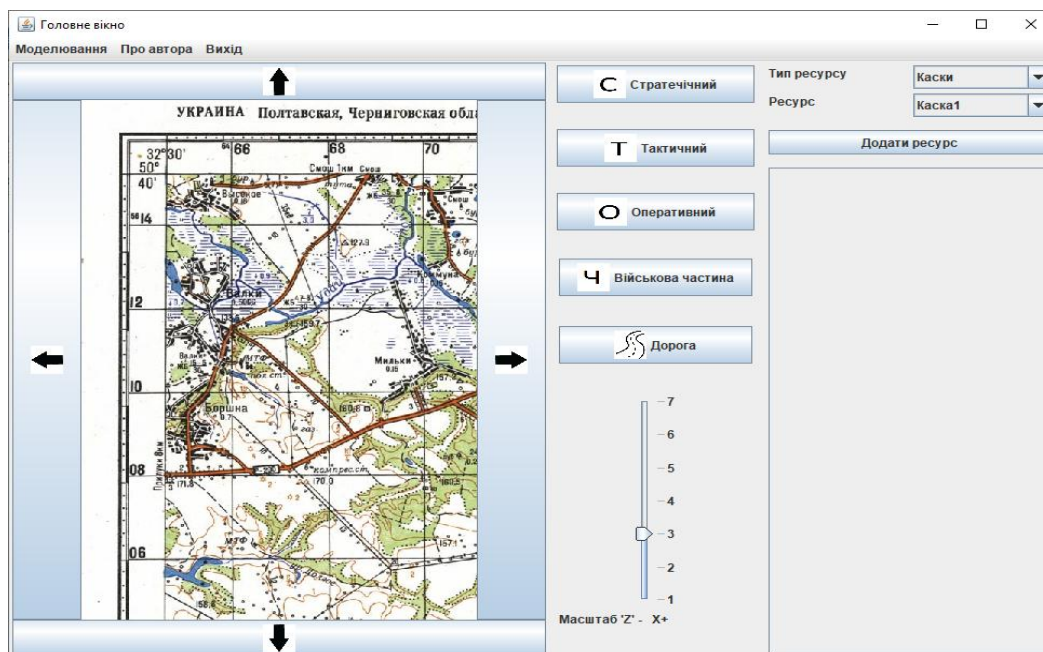


Рисунок 3.5 Збільшення масштабу топографічної карти

На рисунку 3.6 зображено нанесення військової частини на топографічну карту.

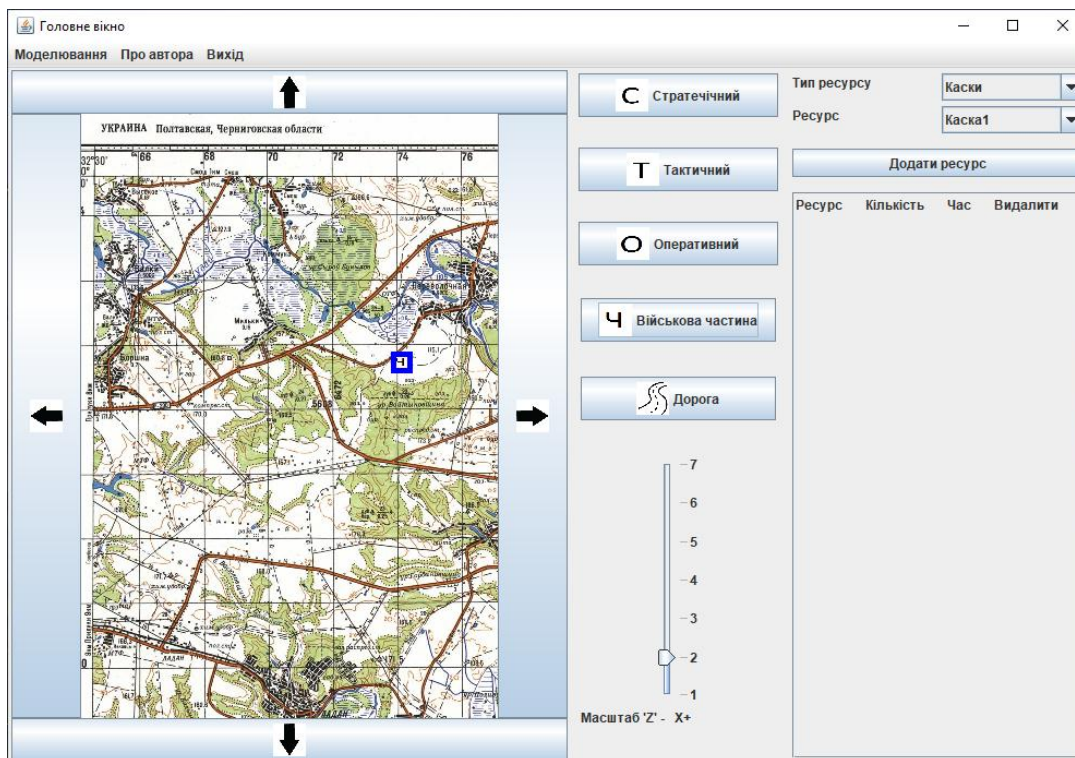


Рисунок 3.6 Нанесення військової частини на топографічну карту

На рисунку 3.7 зображено додавання замовлення до військової частини з визначеною кількістю та часом.

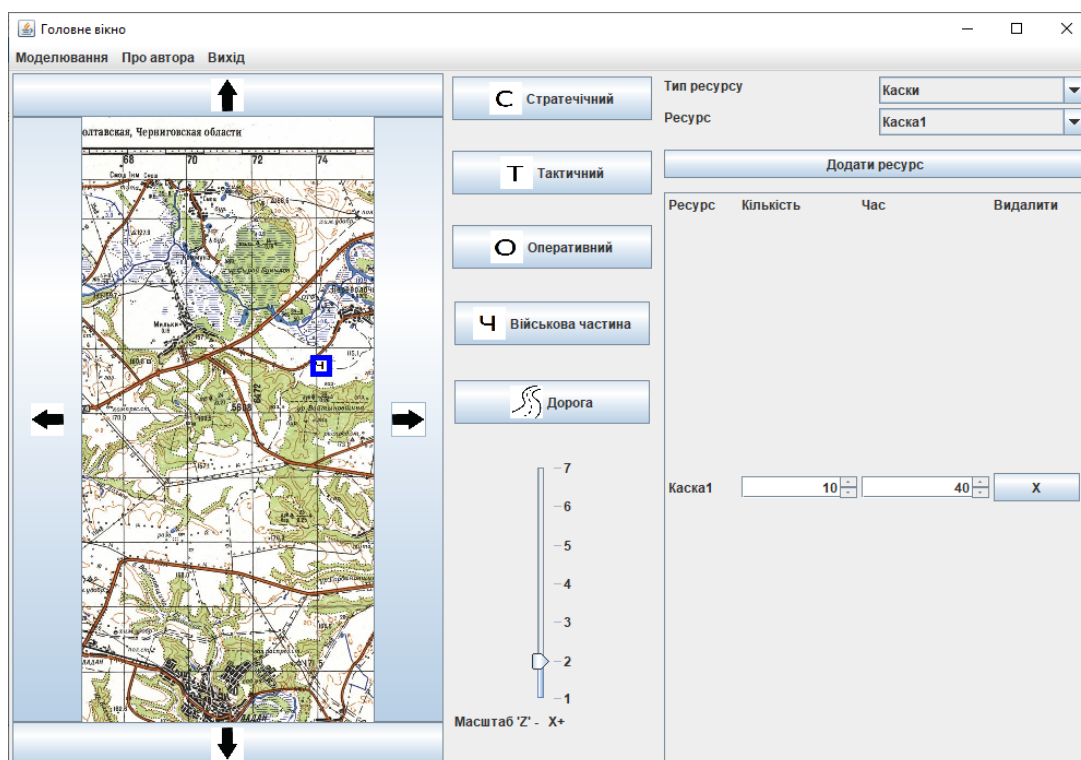


Рисунок 3.7 Додавання замовлення до військової частини з визначеною кількістю та часом

На рисунку 3.8 зображено додавання ще одного замовлення.

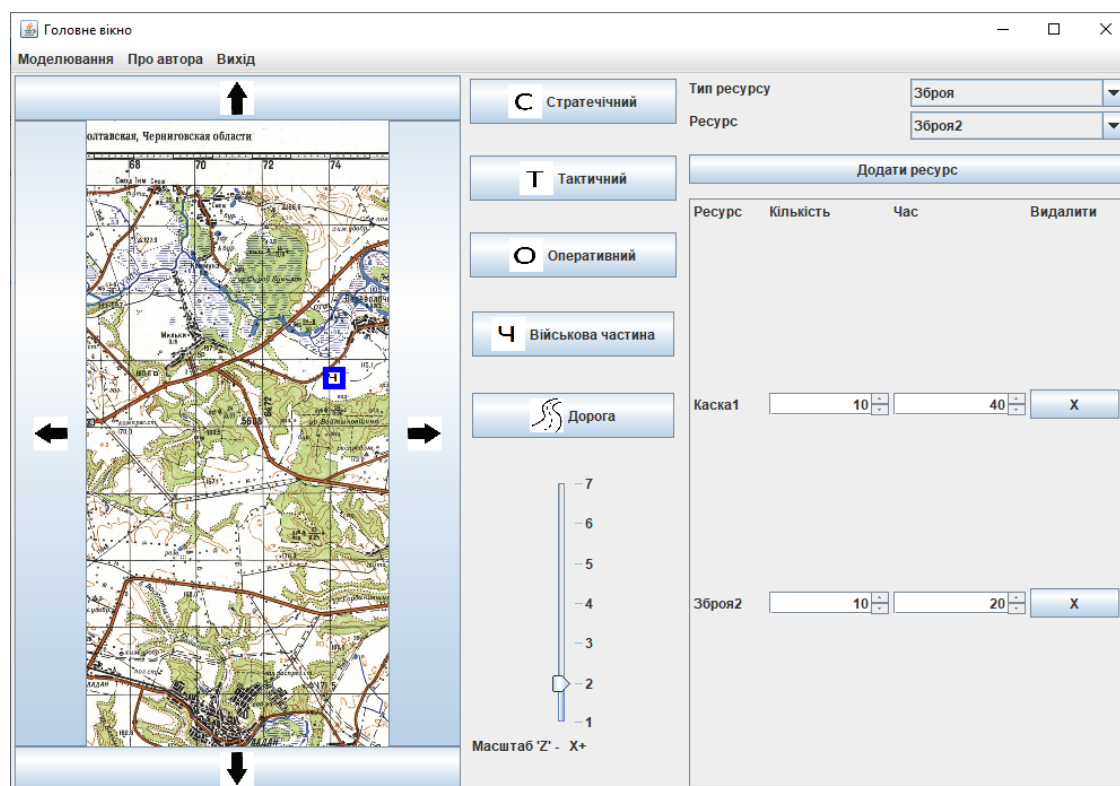


Рисунок 3.8 Додавання ще одного замовлення

На рисунку 3.9 зображено додавання ще однієї військової частини.



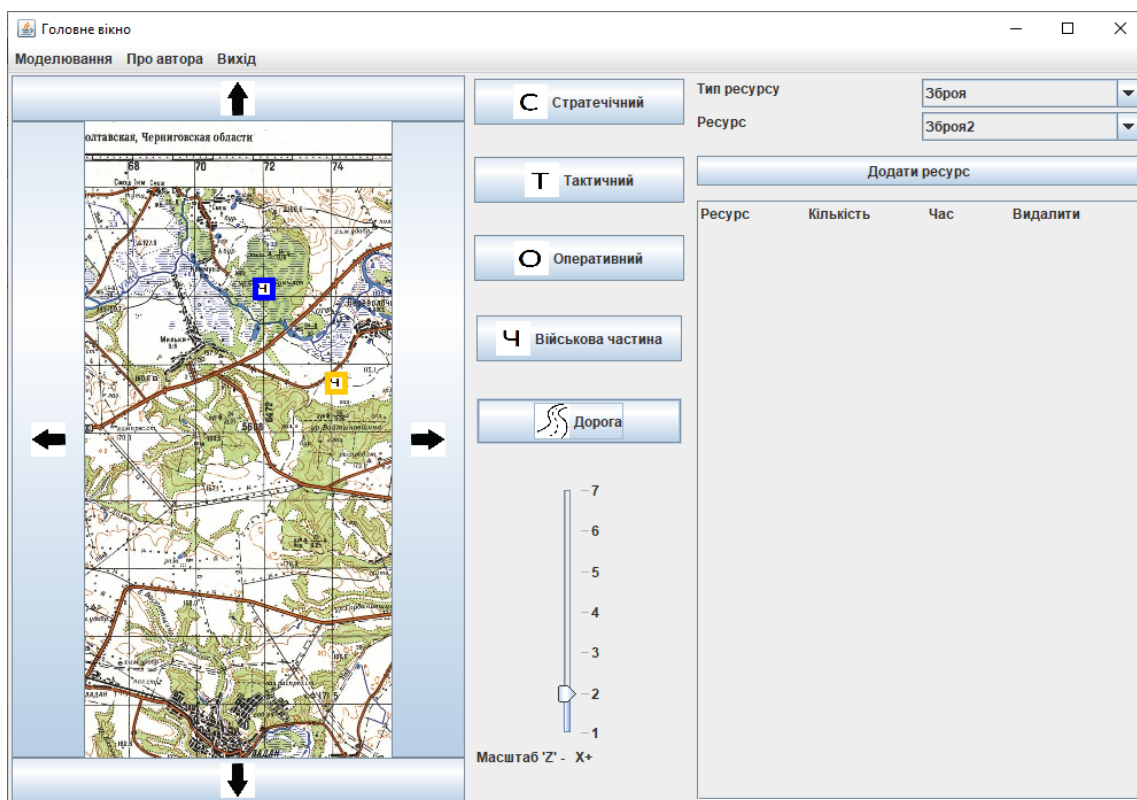


Рисунок 3.9 Додавання ще однієї військової частини

На рисунку 3.10 зображено додавання дороги між військовими частинами.

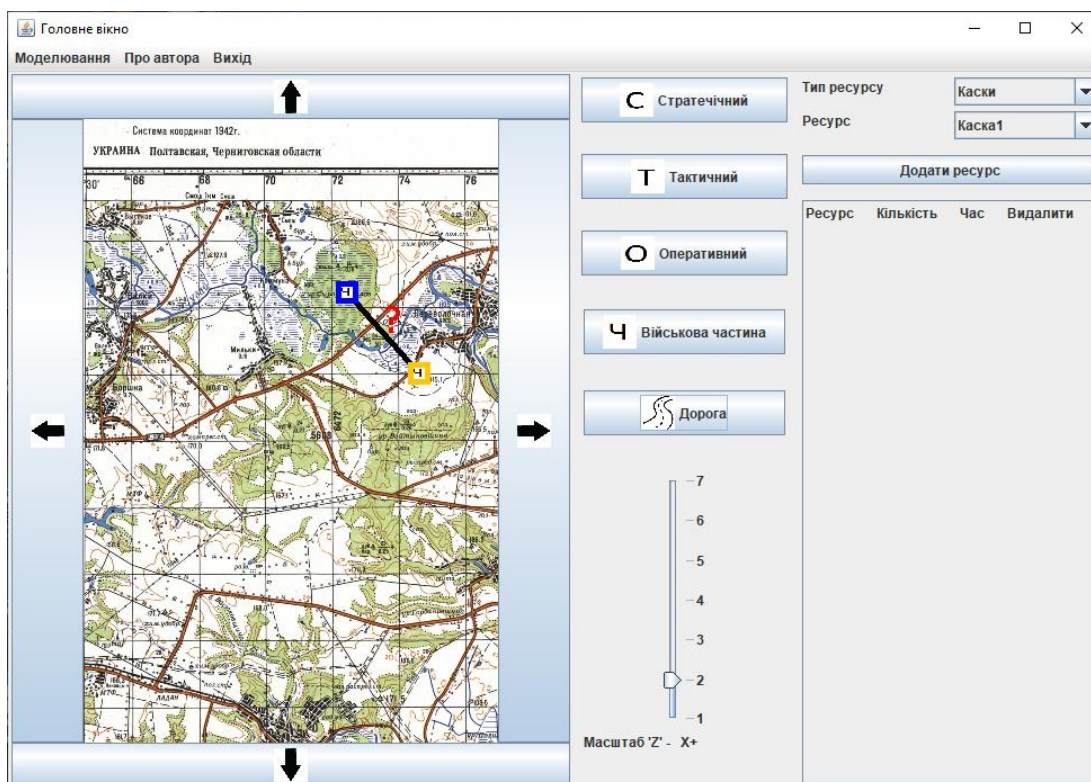


Рисунок 3.10 Додавання дороги між військовими частинами

На рисунку 3.11 зображено введення необхідного часу для переміщення між військовими частинами.

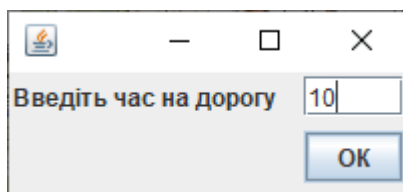


Рисунок 3.11 Введення необхідного часу для переміщення між військовими частинами

На рисунку 3.12 зображено дві військові частини та дорога між ними.

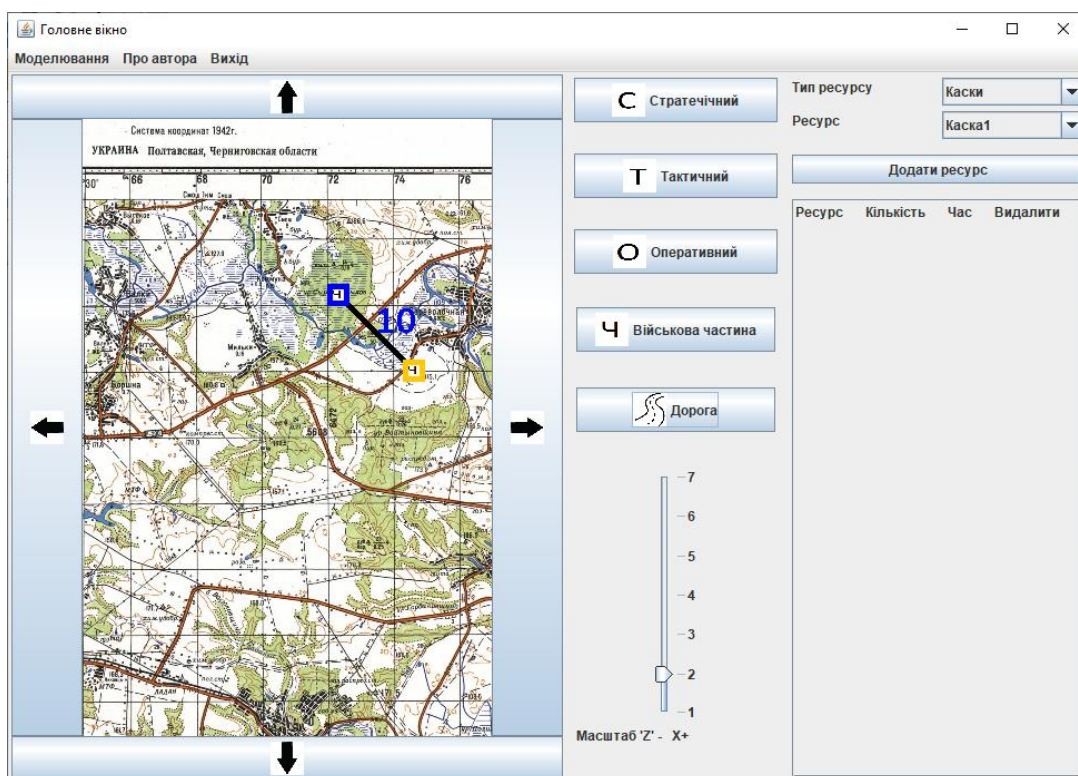


Рисунок 3.12 Дві військові частини та дорога між ними

Таким чином додаються інші військові об'єкти та дороги між ними. Військові частини можуть сполучатися з військовими частинами та одним оперативним складом. Оперативні склади можуть сполучатися з оперативними складами, військовими частинами та одним тактичним складом. Тактичні склади можуть сполучатися з тактичними складами, оперативними складами та одним стратегічним складом. Стратегічні склади можуть сполучатися з тактичними складами. Загалом структура підпорядкування військових об'єктів має вигляд графу "Дерево".

На рисунку 3.13 зображено приклад структури підпорядкування військових об'єктів.

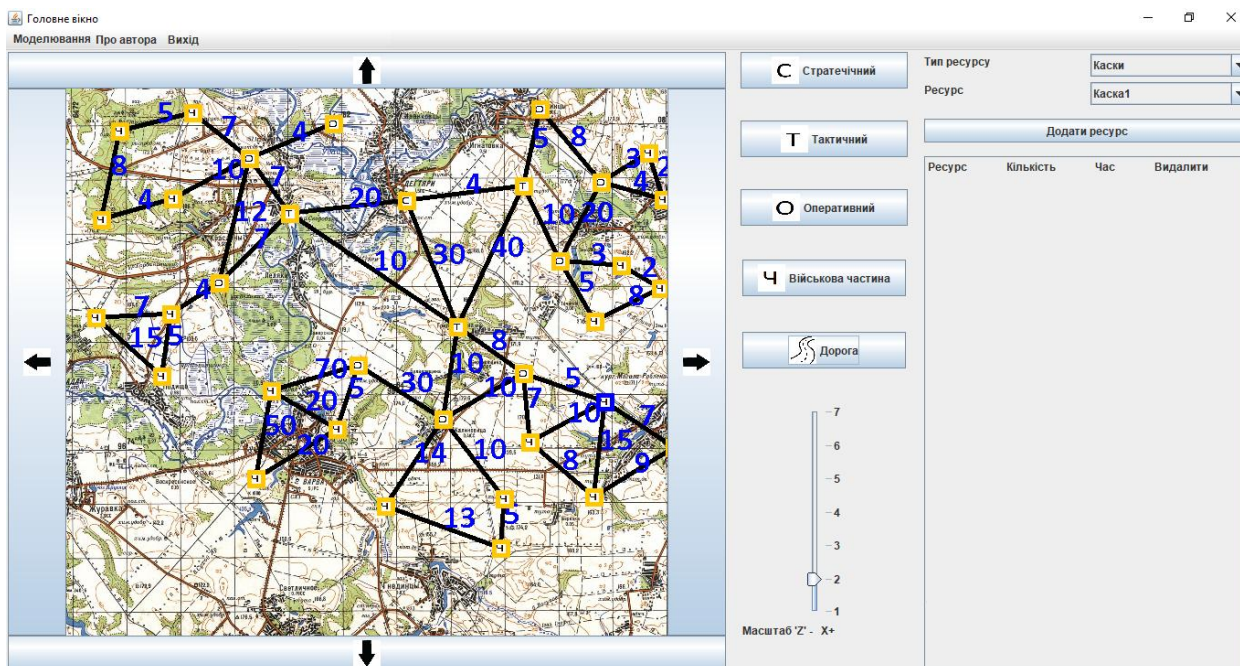


Рисунок 3.13 Приклад структури підпорядкування військових об'єктів  
Для пошуку кращих маршрутів натискаємо на кнопку “Моделювання”.

На рисунку 3.14 зображено вікно налаштувань алгоритму та кількості машин з їх вантажопідйомністю.

The screenshot shows a settings window titled 'Налаштування'. It contains several input fields and a table. The top section has fields for 'Кількість ітерацій' (Number of iterations) set to 6, 'Початкова популяція' (Initial population) set to 8, and 'Час моделювання' (Simulation time) set to 100. Below these are fields for 'Кількість оперативних машин' (Number of operational vehicles) set to 32, 'Кількість тактичних машин' (Number of tactical vehicles) set to 7, and 'Кількість стратегічних машин' (Number of strategic vehicles) set to 5. The bottom section contains a table with three columns: 'Машина №' (Vehicle number), 'Кількість' (Quantity), and 'Вантажопідйомність' (Capacity). The table lists 10 vehicles with their respective quantities and capacities.

Машина №	Кількість	Вантажопідйомність
Машина № 1	28	50
Машина № 2	20	50
Машина № 3	30	45
Машина № 4	40	40
Машина № 5	25	55
Машина № 6	30	50
Машина № 7	35	50
Машина № 8	40	
Машина № 9	45	
Машина № 10	30	

At the bottom of the window, there is a button labeled 'Запустити моделювання' (Start simulation).

Рисунок 3.14 Вікно налаштувань алгоритму та кількості машин з їх вантажопідйомністю

Далі необхідно натиснути на кнопку “Запустити моделювання” та почекати деякий час.



На рисунку 3.15 зображено вікно маршрутів всіх машин, загальні витрати палива, загальний час затримки та кількість доставлених замовлень.

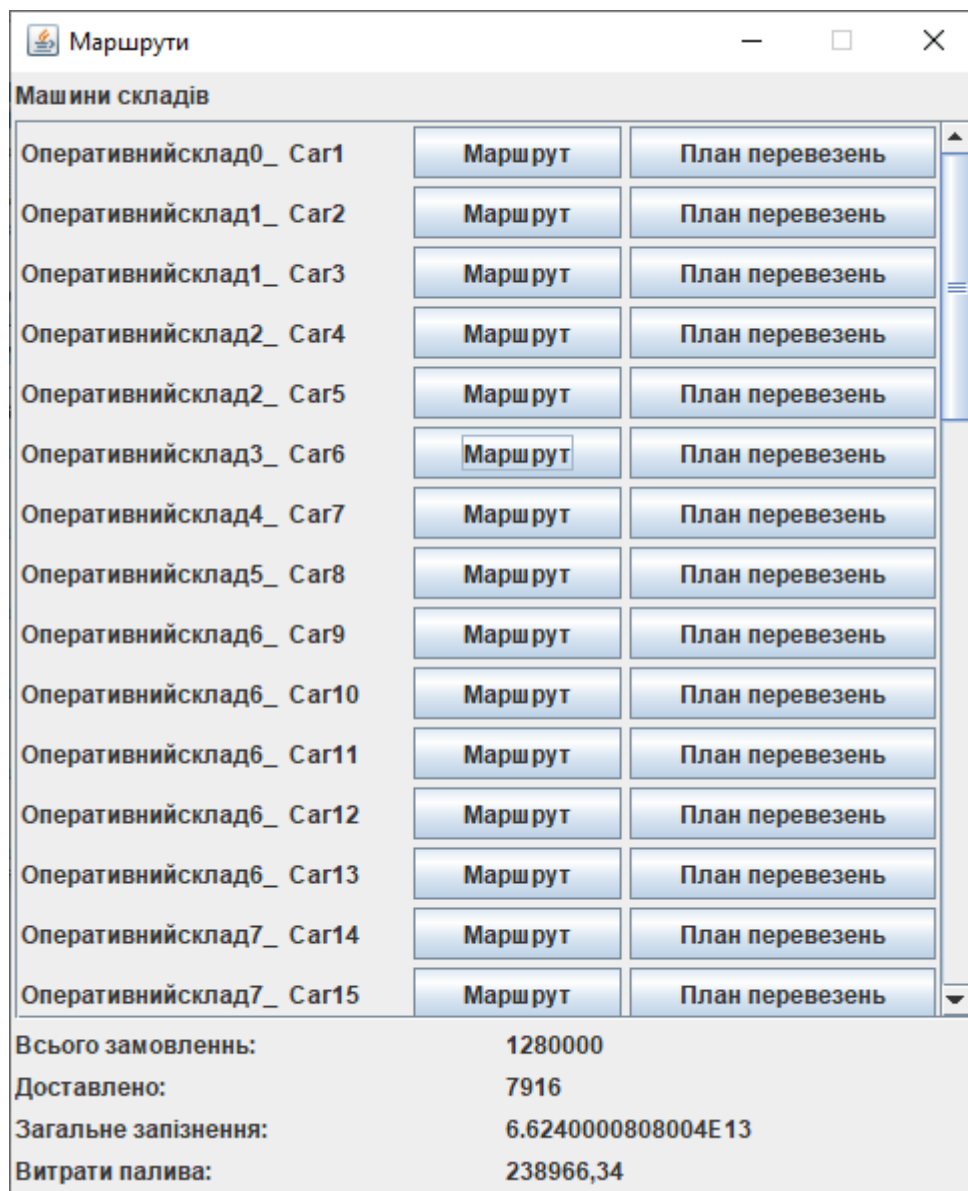
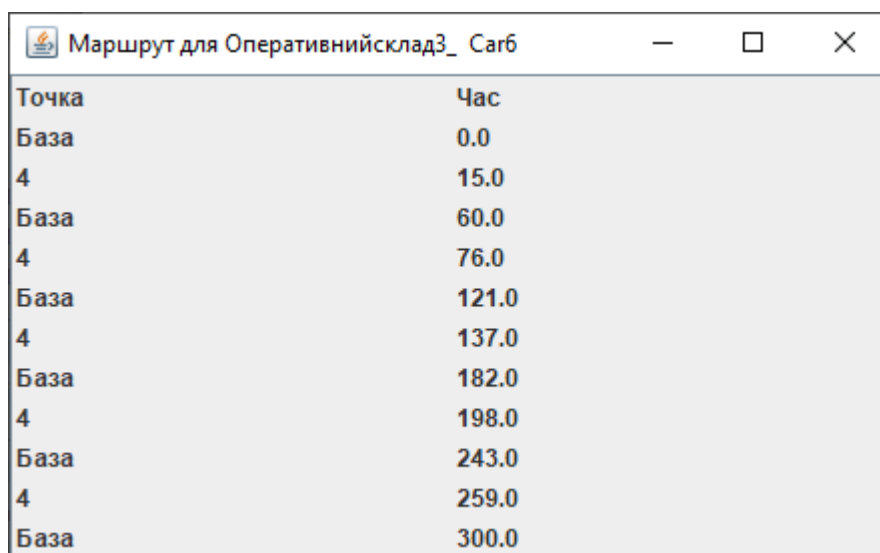


Рисунок 3.15 Вікно маршрутів всіх машин, загальні витрати палива, загальний час затримки та кількість доставлених замовлень

Кнопка “Маршрут” відкриває вікно з маршрутом для окремої машини, а кнопка “План перевезень” відкриває маршрут та ресурси, які необхідно доставити у відповідну точку у відповідний час.

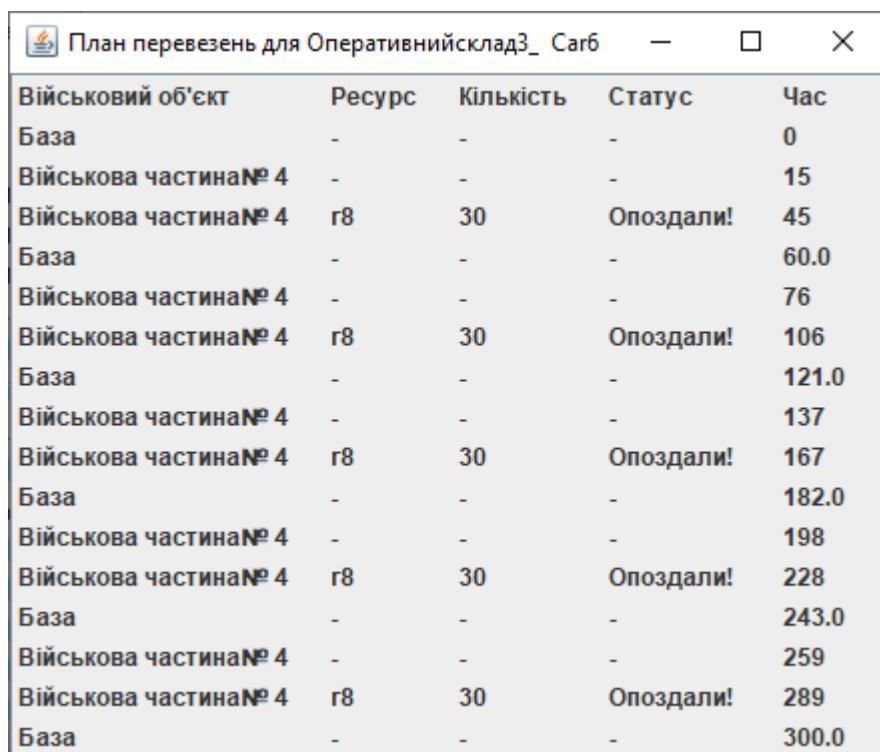
На рисунку 3.16 зображено маршрут окремої машини.



Точка	Час
База	0.0
4	15.0
База	60.0
4	76.0
База	121.0
4	137.0
База	182.0
4	198.0
База	243.0
4	259.0
База	300.0

Рисунок 3.16 Маршрут окремої машини

На рисунку 3.17 зображено план перевезень окремої машини.



Військовий об'єкт	Ресурс	Кількість	Статус	Час
База	-	-	-	0
Військова частина № 4	-	-	-	15
Військова частина № 4	г8	30	Опоздали!	45
База	-	-	-	60.0
Військова частина № 4	-	-	-	76
Військова частина № 4	г8	30	Опоздали!	106
База	-	-	-	121.0
Військова частина № 4	-	-	-	137
Військова частина № 4	г8	30	Опоздали!	167
База	-	-	-	182.0
Військова частина № 4	-	-	-	198
Військова частина № 4	г8	30	Опоздали!	228
База	-	-	-	243.0
Військова частина № 4	-	-	-	259
Військова частина № 4	г8	30	Опоздали!	289
База	-	-	-	300.0

Рисунок 3.17 План перевезень окремої машини

### 3.4 Опис технічного забезпечення

Структура технічних засобів підприємства визначається виходячи із можливості їх забезпечити виконання встановлених операцій процесу технічного обслуговування, можливості інтегрування до існуючих систем, захищеності від несанкціонованого доступу, можливості здійснення операцій контролю уповноваженою персоною.



Даний програмний продукт являє собою комплекс основних функцій моделювання роботи складних систем і призначений для використання бізнес-аналітиком підприємства для аналізу ефективності роботи підприємства.

Для правильної роботи даної програми до складу технічних засобів повинні входити:

а) комп'ютер:

- 1) процесор з частотою - не менше 2.4 ГГц;
- 2) об'єм оперативної пам'яті - не менше 4 ГБ;

б) програмне забезпечення:

- 1) операційна система Windows 8.1+;

в) комп'ютерна периферія:

- 1) монітор;
- 2) мишка;
- 3) клавіатура.

## Висновки до розділу

В даному розділі було наведено обґрунтування вибору засобів розробки для системи моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. Розроблено та описано діаграми класів, послідовностей та компонентів. Представлено інструкцію користувача. Описано бажане технічне забезпечення для роботи програми.

## 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

На даний момент існує необхідність у створенні програмного забезпечення для військових логістів, що дозволяло би швидко та ефективно управляти військовими ресурсами. Необхідно створити інтерактивну карту, на яку можна наносити військові об'єкти та моделювати процеси замовлень військових запитів у частини. На даний момент майже кожна країна розробляє свої проекти по військовій логістиці. Слід зазначити, що ці проекти є достатньо дорогими. Оскільки проект є досить серйозним, вимагає глибокого вивчення військової специфіки, потребує постійного оновлення та використовує нові інженерні рішення, то можна назвати цей проект стартапом. Предметом даного дослідження є методи та інформаційні технології оптимізації витрат на доставку ресурсів у військові підрозділи.

### 1. Опис ідеї проекту

У таблиці 4.1 наведено опис ідеї стартап-проекту.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Розробка системи для оптимізації процесів забезпечення ресурсами військових підрозділів	1. Моделювання роботи ієрархії військових наказів стосовно військової логістики.	Дослідження ефективності ієрархії військових складів та частин.
	2. Оптимізація використання ресурсів для перевезення.	Економія пального для транспортних засобів, економія людино-годин.
	3. Мінімізація затримок замовлень.	Зменшення часу очікування отримання замовлення.
	4. Отримання розкладу	Отримання чіткого

	для транспорту.	розкладу для транспортних засобів.
--	-----------------	------------------------------------

Для реалізації задуманих задач нам необхідно зробити аналіз конкурентів, щоб визначити в чому наш проект кращий, а в чому гірший за аналоги.

У таблиці 4.2 визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї проекту.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				M (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Проект, що розробляється	ABM Rinkai TMS	ILS online	SAP			
1.	Вартісні характеристики	Безкоштовний	300грн/об'єкт	В залежності від об'єму необхідних задач	Дуже велика			+
2.	Якість	Продукт розробляється однією людиною, тому якість середня	Дуже якісний Продукт	Дуже якісний продукт	Дуже якісний продукт	+		
3.	Швидкість	Середня	Швидка	Швидка	Серед-		+	

					ня			
--	--	--	--	--	----	--	--	--

Продовження таблиці 4.2

№	Техніко- економічні характеристик и ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Проект, що розробляється	ABM Rinkai T MS	ILS online	SAP			
4.	Задоволення специфіці військових задач	Програма робиться під військові задачі	Частково покрива- ють задачі	Частково покрива- ють задачі	Задо- воль- няє міні- маль- но			+
5.	Складність в експлуатації	Інтуїтивно зрозуміло	Є інструк- таж	Є інструк- таж	Необхі- дно проход ити певні курсм			+
	Необхідність в подальшій технічній підтримці	Непотрібно	Бажано	Бажано	Необ- хідно			+

## 2. Технологічний аудит ідеї проекту

У таблиці 4.3 описана технологічна здійсненність ідеї проекту.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
		Технологія 1 (технологія виготовлення товару, надання послуги)	Чи вони наявні, або ж необхідно їх розробити/добробити?	Чи вони доступні авторам проекту?
	Використання топографічних карт	Бібліотеки топографічних карт	Наявні(є у вільному доступі)	Доступні
	Моделювання військових наказів	Бібліотека PetriObjLib	Наявна	Доступна
	Моделювання розподілу військових ресурсів через пріоритети	Бібліотека PetriObjLib	Наявна	Доступна
	Використання алгоритмів розробки оптимальних маршрутів	Алгоритми маршрутизації	Необхідно розробити(є готові алгоритми)	Доступні

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: з огляду на те що всі технології для реалізації ідей доступні, то ми можемо реалізувати всі заплановані ідеї.

### ***3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту***

На будь-якому підприємстві є потреба в управлінні запасами, а також в своєчасному матеріально-технічному постачанні. При виконанні різних господарських операцій необхідно врахувати безліч чинників, що вимагає істотних тимчасових і фінансових витрат. Скоротити витрати і оптимізувати роботу менеджерів з логістики покликаний модуль «Управління матеріальними потоками» (MM) від компанії SAP.

Використання SAP MM допоможе ефективно управляти господарською діяльністю компанії, завдяки таким можливостям:

- облік обсягів і вартості складських запасів;
- контроль системи матеріально-технічного постачання;
- скорочення витрат на закупівлю матеріалів і зміст складського комплексу;
- організація злагодженої роботи співробітників з різних підрозділів;
- збільшення оборотності складських запасів.

#### **Організація логістичних процесів на підприємстві**

Модуль «Управління матеріальними потоками» підтримує повний цикл робіт по операційній логістиці: планування закупівель необхідних матеріалів, атестацію постачальників, обробку робіт і послуг, управління складськими запасами підприємства та складання звітності.

Модуль SAP MM допоможе ефективно управляти матеріальними потоками, завдяки наявності таких функціональних можливостей:

#### **Планування потреби в матеріалах**

За допомогою модуля можна контролювати обсяг наявних запасів, а також автоматично створювати проекти замовлень для закупівлі і виробництва.

Створення замовлень на поставку. У замовленні фіксується інформація про об'єкт закупівлі, умови ціни позиції, дату та умови поставки. Замовлення на поставку може бути створений автоматично або вручну.

### **Організація закупівельних процесів**

«Управління матеріальними потоками» допоможе вибрати постачальників матеріалів і послуг, контролювати статус замовлень і відслідковувати платежі. У модулі існує система нагадувань, яка повідомляє партнерів про відкриті позиції замовлень на поставку.

### **Контроль надходжень і переміщень об'єктів на складі**

При створенні документа надходження автоматично формується документ матеріалу та бухгалтерський документ, що містить інформацію про виконані проводках в бухгалтерському обліку. У модулі відображаються внутрішні переміщення об'єктів між складами підприємства і здійснюється проводка перенесення.

### **Відпуск матеріалів**

Для різних об'єктів контирування створюються резервування відпуски матеріалів, в яких враховується доступність запасу. Резервування можуть формуватися автоматично або вручну.

### **Контроль рахунків і оцінка запасів**

При створенні рахунків фактури автоматично створюється бухгалтерський документ, який містить дані про виконані проводках в бухгалтерському обліку, що дозволяє контролювати правильність розрахунків. Виконання оцінки запасів забезпечує зв'язок між управлінням матеріальними потоками і фінансової бухгалтерією, оновлюючи основні рахунки фінансової бухгалтерії при виконанні складських операцій.

### **Проведення інвентаризації та переоцінки**

Модуль ММ підтримує кілька видів інвентаризації: безперервну, періодичну, вибірккову і на певну дату. Проведення переоцінки дозволяє змінити вартість запасів без зміни кількості.

Задачею стартап проекту є автоматизація створення маршрутів доставки між військовими складами та частинами, які б забезпечили зменшення використання палива та зменшення часу затримки доставки замовлень у військові частини.

У таблиці 4.4 наведено попередню характеристику потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>№ п/ п</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	1 (SAP)
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1,5 міль. дол.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Юридичні обмеження
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Згідно військовим вимогам до програмного забезпечення
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	-

Ринок є достатньо привабливим оскільки існує потреба у створенні програмного продукту для військових логістів.

У таблиці 4.5 визначено характеристику потенційних клієнтів стартап-проекту.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія</i>	<i>Відмінності у поведінці різних</i>	<i>Вимоги споживачів до</i>
------------------	-------------------------------------	------------------------------	---	---------------------------------



		<i>(цільові сегменти ринку)</i>	<i>потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>товару</i>
	Моделювання процесів військової логістики	Військові логісти	Військовий регламент щодо програмного забезпечення	Безпека даних, інтуїтивна зрозумілість, Інформативність

Для реалізації проекту необхідно оцінити фактори загроз та можливостей. Цей аналіз зможе зберегти нам час в майбутньому та допоможе поставити чіткіші задачі в проекті.

У таблиці 4.6 визначені фактори загроз.

Таблиця 4.6. Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Військовий регламент	Відповідність військовому регламенту	Уточнити у військових
	Ризики, що будуть гальмувати розвиток продукту	В якому напрямку слід рухати проект	Уточнити у військових
	Задоволення потреб користувачів	Який набір функціоналу необхідний користувачу	Уточнити у військових

У таблиці 4.7 визначені фактори можливостей.

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
------------------	---------------	-------------------------	---------------------------------

	Зацікавлення представників з інших сфер діяльності	Адаптування програми під інші сфери діяльності	Можливість покращити логістику інших сфер діяльності
	Відсутність аналогів	В Україні не має аналогів такого програмного продукту	Можливість стати монополістом в даній галузі

У таблиці 4.8 описано ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Вказати тип конкуренції Олігополія	Існують схожі програмні засоби проте вони всі вузько направлені. Мій програмний продукт буде вузько направлений в сфері військової доставки.	Взяти усе найкраще у конкурентів та впровадити свої фічі.
2. За рівнем конкурентної боротьби Національний	Багато держав розробляють програми щодо покращення військової логістики.	Ці програми дуже багато коштують і наші компанії потрібно трохи зменшити ціну.
<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути</i>

		<i>конкурентоспроможною)</i>
3. За галузевою ознакою Внутрішньогалузева	Боротьба серед аналогів програм за клієнта	Необхідно створити кращий товар ніж у конкурентів
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	Існують багато схожих програм проте в моїй програмі буде ухил на військову тематику.	Добре вивчити предметну область

Продовження таблиці 4.8

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
5. За характером конкурентних переваг Нецінова	Програмне забезпечення буде суттєво відрізнятися від звичайних логістичних програм	Необхідно вивчити порядок військових наказів та їх затвердження. Будуть застосовуватися різні види транспорту на відміну від звичайних логістичних програм.
6. За інтенсивністю Не марочна	Фірма ще не набула достатньої популярності	Необхідність у створенні дійсно якісного продукту для завоювання довіри клієнта

У таблиці 4.9 представлено Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори сили споживачів	Фактори загроз з боку замінників
	SAP	Юридична частина	-	Гроші	Часткова заміна
Висновки :	Визначити інтенсивність конкурентної боротьби з боку прямих конкурентів	- чи є можливості входу в ринок? - чи є потенційні конкуренти? Строки виходу їх на ринок?	Чи постачальники диктують умови роботи на ринку? Які?	Чи клієнти диктують умови роботи на ринку? Які?	Обмеження для роботи на ринку через товари замінники
	Дуже інтенсивна	Для входу на ринок необхідно пройти багато бюрократичних процесів	-	Виставляючи умови до програмного забезпечення	Мій програмний продукт буде відрізнятися більшою кількістю вирішення задач

Висновок: для того щоб твердо стояти на цьому ринку необхідно цілком і повністю задовольнити побажання військових логістів та розробити достатньо якісний програмний продукт, який є кращим за його аналоги.

У таблиці 4.10 наведено обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
	<i>Ціна</i>	<i>Наявні аналоги невиправдано дорогі</i>

Продовження таблиці 4.10

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
	<i>Легкість у користуванні</i>	<i>Непотрібно проходити ніяких курсів для використання програмного продукту</i>
	<i>Можливість подальшого розвитку та завоювання нових сфер</i>	<i>В майбутньому можна розширити сфери використання програмного продукту</i>
	<i>Задоволення потреб військових логістів</i>	<i>Відсутність потрібних програм для військових логістів</i>

У таблиці 4.11 наведено порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

<i>№ n/ n</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з моїм підприємством</i>						
		<i>-3</i>	<i>-2</i>	<i>-1</i>	<i>0</i>	<i>+1</i>	<i>+2</i>	<i>+3</i>

1	<i>Ціна</i>	+						
	<i>Легкість у користуванні</i>	+						
2	<i>Можливість подальшого розвитку та завоювання нових сфер</i>		+					
3	<i>Задоволення потреб військових логістів</i>			+				

У таблиці 4.12 наведено SWOT- аналіз стартап-проекту.

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: порівняно дешевша ціна, легкість в експлуатації, відсутня потреба у підтримці, задоволення потреб військових логістів	Слабкі сторони: мало ресурсів та часу для створення дійсно якісного продукту
Можливості: зацікавлення представників з інших сфер діяльності, відсутність аналогів	Загрози: задоволення потреб клієнтів

У таблиці 4.13 наведено альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
	Стратегія спеціалізації	90%	1,5 роки
	Стратегія диференціації	50%	2 роки

	Позиціювання за співвідношенням "ціна - якість"	98%	1 рік
	Стратегія зайняття конкурентної ніші	50%	1 рік

Найкращим варіантом буде стратегія позиціювання за співвідношенням оскільки імовірність отримання ресурсів та строки реалізації є найбільш оптимальними.

#### 4. Розроблення ринкової стратегії проекту

У таблиці 4.14 наведено вибір цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Військові логісти, інші логісти	Готові	100%	Є декілька конкурентів	Не просто
Які цільові групи обрано: військові логісти					

У таблиці 4.15 визначено базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана	Стратегія	Ключові	Базова
---	--------	-----------	---------	--------

<i>n/ n</i>	<i>альтернатива розвитку проекту</i>	<i>охоплення ринку</i>	<i>конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>стратегія розвитку</i>
	Зосередження на одному сегменті (військова сфера)	Стратегія концентра- ного маркетингу	Відсутність великих ресурсів	Стратегія спеціалізації

Оскільки даний програмний продукт буде розповсюджуватися серед усіх логістів країни як єдиний стандарт, то наша стратегія конкурентної поведінки буде стратегія виклику лідера. Це означає, що наш продукт, щоб утриматися на ринку має краще задовольняти потреби користувачів та бути дешевшим.

У таблиці 4.16 визначено базову стратегію конкурентної поведінки.

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «періопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
	Ні	Так	Так	Стратегія виклику лідера

У таблиці 4.17 визначено стратегію позиціонування.

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

<i>№</i>	<i>Вимоги до</i>	<i>Базова</i>	<i>Ключові</i>	<i>Вибір асоціацій, які</i>
----------	------------------	---------------	----------------	-----------------------------



<i>n/ n</i>	<i>товару цільової аудиторії</i>	<i>стратегія розвитку</i>	<i>конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
	Моделюван ня процесів військової логістики	Позиціюва ння за співвіднош енням "ціна - якість"	Оптимальна ціна та якість проекту; Задоволення військовим потребам	Оптимальна ціна, задоволення військовим потребам, якісь

### 5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

У таблиці 4.18 визначено ключові переваги концепції потенційного товару

Таблиця 4.18. Ключові переваги концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
	Моделювання процесів військової логістики	Зручна програма для моделювання логістичних процесів військової логістики	Добре співвідношення ціни та якості

У таблиці 4.19 описано три рівні моделі товару.

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>
I. Товар за здумом	Програмний продукт моделювання військової логістики

II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Керування розміщенням військових частин та центрів
	2. Зіставлення запитів для доставки
	3. Видача оптимальних розкладів маршрутів для доставки
	4. Моделювання роботи військових наказів
	Якість: військові стандарти та нормативи
	Пакування
	Марка: MyLogistics + MilitaryLogisticsUkraine
III. Товар із підкріпленням	До продажу: гарантія якості
	Після продажу: підтримка
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності	

Необхідною складовою є аналіз ціни товару, що дозволяє планувати кількість ресурсів для розробки даного продукту.

У таблиці 4.20 визначено межі встановлення ціни.

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№ n/n	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	1000\$	50000\$	100000\$	1000\$=50000\$

Для збуту програмного продукту необхідне представництво військових, які можуть оцінювати товар та допомагати у створенні постановки задач.

У таблиці 4.21 описано формування системи збуту.

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ n/n	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Військова специфіка	Домовлятися з	Перший	Через

		військовими про вимоги та ціну	рівень	посередника
--	--	-----------------------------------	--------	-------------

У таблиці 4.22 наведено концепцію маркетингових комунікацій.

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
	Орієнтовані на якість	Контент- маркетинг	Оптимальна ціна та якість	Показати якість продукту	Показати якість продукту

## **6. Висновки до розділу**

- існує потреба у створенні даного програмного продукту;
- є перспективи впровадження даного проекту, оскільки схожі проекти є невиправдано дорогі та неякісні;
- слід зосередитись на одному військовому сегменті та досконало вивчити внутрішні процеси у цій сфері;
- подальша імплементація проекту є цілком доцільна.

## ВИСНОВКИ

Проведено аналіз існуючих методів та алгоритмів рішення подібних задач. Сформульована математична постановка транспортної задачі з обмеженим часом, в якій визначені обмеження моделі. Створено Петрі-об'єктну модель транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. В якості цільової функції вибрано суму витрат пального та сумарну затримку доставок замовлень. Описано алгоритм оптимізації рішення транспортної задачі, який дозволяє зменшити загальний час затримки доставки військового устаткування та зменшити витрати пального.

Система моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах дозволяє оперувати різними ресурсами військового устаткування. Також система дозволяє проводити налаштування вантажопідйомності для кожного транспортного засобу. Перевагою системи є стохастичність, що в свою чергу наближає моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів до реальних значень. Деталізація процесів дозволяє проводити більш адекватне відображення станів та дій, які відбуваються у реальній системі. Використання генетичного алгоритму дає можливість визначити необхідну кількість транспортних засобів та їх вантажопідйомність для кожного складу та маршрути, які зменшують час запізнення замовлень та загальні витрати пального на доставку. Також використання генетичного алгоритму дозволяє генерувати широкий набір рішень та не дозволяє попадати в локальні екстремуми. Система дозволяє проводити моделювання транспортних перевезень у складних багаторівневих ієрархічних системах.

Описано процес діяльності системи моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. Представлено схему структурних варіантів виконання системи моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. Наведено структуру бізнес-процесів створення маршрутів та статистики витрат ресурсів на перевезення. Представлено схему функціональної структури системи моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. Сформована мета та завдання

дисертаційного дослідження. Описано рішення з інформаційного забезпечення системи моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. Вирішення поставлених задач може стати у нагоді бізнесменам, аналітикам систем, які мають необхідність у оптимізації своїх підприємств.

Описано змістовну постановку задач, вхідні та вихідні дані. Представлена математична модель системи моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. Проведено огляд інших методів розв'язання транспортних задач. Представлено свій метод розв'язання задачі транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах з багаторівневою структурою складів. Описані переваги використання стохастичних мереж Петрі для задачі транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах з багаторівневою структурою складів. Розроблено алгоритм розв'язання задачі транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах з багаторівневою структурою складів. Наведені результати дослідження задачі транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах з багаторівневою структурою складів.

Наведено обґрунтування вибору засобів розробки системи моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах. Розроблено та описано діаграми класів, послідовностей та компонентів. Представлено інструкцію користувача. Описано бажане технічне забезпечення для роботи програми.

Проведено випробування продукту та наведено детальний опис кожного результату випробування. Беручи до уваги результати випробування, можна стверджувати, що система працює коректно та відповідає вимогам програмного забезпечення.

Доведено доцільність та перспективи розвитку даного продукту.

Аналіз результатів відомих алгоритмів дозволяє зробити висновок про те, що в даний час не існує одного алгоритму, який би добре розв'язував задачі всіх класів. Необхідна комплексна оцінка отриманих рішень як за кількістю задіяних

транспортних засобів, так і з пройденого шляху, так як ці дві змінні є критеріями оптимальності отриманих рішень[1].

Важливим моментом є необхідність дотримання балансу між кількістю транспортних засобів і відстанню, можливість отримання рішення, при якому одночасно мінімізується і кількість транспортних засобів та пройдений шлях[1].

Технологія Петрі-об'єктного моделювання, на відміну від інших технологій моделювання дискретно-подійних систем, поєднує в собі переваги аналітичного та імітаційного методів, надає можливість візуального програмування динаміки складних систем, забезпечує коректність алгоритму імітації та його швидкодію для моделей з великою кількістю елементів. Модель дискретно-подійної системи формується на основі використання стохастичної мережі Петрі для опису динаміки структурних елементів системи та об'єктно-орієнтованого підходу для опису структури системи. Поєднання нового формалізму з відповідним програмним забезпеченням створює технологію Петрі-об'єктного моделювання систем, що дозволяє: складати формальний опис динаміки дискретно-подійної системи на основі динаміки її елементів; створювати класи типових елементів зі схожою динамікою; розробляти структуру системи на основі множини конструктивних елементів та взаємозв'язках між ними; використовувати уніфікований опис динаміки як елементів, так і об'єктів управління; здійснювати перехід до більш високого рівня програмування моделі: від програмування елементів моделі до конструкції моделі, від програмування подій до конструювання динаміки системи з використанням мереж Петрі.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гладков Л.А. Гибридный алгоритм решения транспортных задач с ограничением по времени / Л.А. Гладков, Н.В. Гладкова. – Россия, Таганрог: Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. – С. 180-191.
2. Стеценко І. В. Дослідження дискретно-подійних систем з використанням технології Петрі-об'єктного моделювання / І.В. Стеценко – Україна, Чернівці: УСиМ, 2014. № 5 С. 77-85.
3. Ермакова В.О. трансляция вложенных сетей петри в классические сети петри для верификации разверток / В.О. Ермакова, И.А. Ломазова – Россия, Москва: Труды ИСП РАН, том 28, вып. 4, 2016. С. 115-136.
4. Gonzalo Mejia Petri nets and genetic algorithms for complex manufacturing systems scheduling / G. Mejia , C. Montoya , J.Cardona, A.L. Castro – United Kingdom: International Journal of Production Research №50(3), 2012. pp. 791-803.
5. Yain Whar Si A Petri Nets Based Generic Genetic Algorithm Framework for Resource Optimization in Business Processes / Y.W. Si, M. Dumas, V. Chan, D. Zhang—China, Macau: Department of Computer and Information Science, University of Macau, Macau University of Tartu, Estonia Department of Computer Science, Xiamen University 2018. pp. 72-101.
6. Тарасюк И.В. Стохастические сети Петри – формализм для моделирования и анализа производительности вычислительных процессов / И.В. Тарасюк – Россия, Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 2004. С. 136-150.
7. Филиппова А.С. Матричный алгоритм роя частиц для поддержки принятия решений при составлении расписания обслуживающих бригад / А.С. Филиппова, Е.В. Андреева, Э.И. Дямина, Е.Д. Лаптенко. – Россия, Уфа-Ставрополь: Труды Шестой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 2018. – С. 126-128.
8. Хмелев А.В. Алгоритмы локального поиска для задач маршрутизации транспортных средств / А.В. Хмелев, Ю.А. Кочетов – Россия, Новосибирск: Новосибирский державний університет 2015. С. 80-102.

9. Захаров В.В. Динамическая адаптация генетического алгоритма маршрутизации транспорта на больших сетях / В.В. Захаров, А.В. Мугайский – Россия, Санкт-Петербург: Управление большими системами №73, 2018, С. 108-133.
10. Кажаров А.А. Разработка среды маршрутизации грузоперевозок / А.А. Кажаров, А.А. Рокотянский – Россия, Таганрог: Известия ЮФУ Технические науки №4(93), 2009. С. 174-181.
11. Гладков Л.А. Решение динамических транспортных задач на основе гибридных интеллектуальных методов и моделей / Л.А. Гладков, Н.В. Гладкова – Россия, Таганрог: Известия ЮФУ Технические науки №7(144), 2013. С. 102-107.
12. Фараонов А.В. Ситуационная модель выбора маршрута доставки / А.В. Фараонов – Россия, Санкт-Петербург: Прикладная информатика №2(44), 2013. С. 113-126.
13. Сазонов В.В. Применение мультиагентных технологий в транспортной задаче с временными окнами и несколькими пунктами погрузки / В.В. Сазонов, П.О. Скобелев, А.Н. Лада, И.В. Майоров – Россия, Москва: Информационные технологии в управлении, 2016. С. 65-80.
14. Васянин В.А. Задачи построения доставочных и сборочных маршрутов перевозки мелкопартионных грузов во внутренних зонах иерархической автотранспортной сети / В.А. Васянин, Л.П. Ушакова – Україна, Київ: Математичне моделювання в економіці, 2016. С. 102-131.
15. Корзаченко О.В. Моделювання бізнес-процесів підприємств: методології, підходи та методи / О.В. Корзаченко – Україна, Херсон: Науковий вісник Херсонського державного університету. С. 171-175.
16. Горбунов А.Р. Парадигмы имитационного моделирования: новое в решении задач стратегического управления / А.Р. Горбунов, Н.Н. Лычкина – Россия, Санкт-Петербург: ИММОД Бизнес-информатика №2, 2007, С. 60-66.
17. Корнев Д.А. Исследование алгоритмов работы информационной системы с использованием математического аппарата сетей Петри / Д.А. Корнев, Е.Ю. Логинова – Россия, Москва: Cloud of Science, 2014. С. 318-326.



18. Kucharik M. Modeling of Uncertainty with Petri Nets / M.Kucharik, Z. Balogh – Nitra, Slovakia: Department of Informatics, Faculty of Natural Sciences, Constantine the Philosopher University in Nitra, Tr. A. Hlinku 2019. pp. 499-509.

19. Xinhua C. Computer Network Simulation Modeling Based / C. Xinhua, S. Ya-ni – China, Sichuan: Sichuan Information Technology College, iJOE 2016. pp. 25-28.

20. Стеценко І. В. Петрі-об'єктний підхід до побудови моделей динамічного розподілу ресурсів підприємства / І.В. Стеценко – Україна, Чернівці: Буковинський державний фінансово-економічний університет 2014. С.132-134.

21. Стеценко І.В. Проектування графічного модуля програмного забезпечення Петрі-об'єктного моделювання систем / І.В. Стеценко, О.В. Василевська – Україна, Черкаси: Вісник ЧДТУ 2013. №2, С. 13-18.

22. Стеценко І. В. Інтелектуальний компонент візуального програмування стохастичних мереж Петрі / І.В. Стеценко, К.С. Лещенко – Україна, Чернівці: Технічні науки та технології №4(6) 2016. С. 139-147.

23. Ломазова И.А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределенных систем с объектной структурой / И.А. Ломазова – Россия, Москва: Научный мир. 2004. – С. 54-107.

24. Аналіз алгоритмів вирішення VRP-задач [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

[https://studbooks.net/1268236/informatika/analiz\\_algoritmov\\_resheniya\\_zadach](https://studbooks.net/1268236/informatika/analiz_algoritmov_resheniya_zadach)

25. IntelliJ IDEA [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://jetbrains.ru/products/idea>

26. Java [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Java>

27. Моделювання систем І.В. Стеценко [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://web.kpi.kharkov.ua/auts/wp-](http://web.kpi.kharkov.ua/auts/wp-content/uploads/sites/67/2017/02/MOCS_Kachanov_posobie.pdf)

[content/uploads/sites/67/2017/02/MOCS\\_Kachanov\\_posobie.pdf](http://web.kpi.kharkov.ua/auts/wp-content/uploads/sites/67/2017/02/MOCS_Kachanov_posobie.pdf)

28. Імітаційне моделювання систем та процесів В. Б. Неруш, В. В. Курдеча [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/15598/1/Konspect\\_lekciy\\_Imit\\_modelyr\\_syst\\_process%28CHANGED%29.pdf](http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/15598/1/Konspect_lekciy_Imit_modelyr_syst_process%28CHANGED%29.pdf)

29. Стеценко І. В. Технологія Петрі-об'єктного моделювання систем / І.В. Стеценко – Україна, Черкаси: ЧДТУ, 2011. №4. – С. 25–30.

30. Стеценко І. В. Петрі-об'єктна модель системи управління транспортним рухом / І.В. Стеценко – Україна, Київ: Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка : Зб. наук. пр., 2011. № 54. – С. 116–125.

31. Стеценко І. В. Проектування графічного модуля програмного забезпечення Петрі-об'єктного моделювання систем / І. В. Стеценко, О. В. Василевська – Україна, Черкаси: Вісник ЧДТУ 2013. № 2. – С. 13–18.

32. Бовда В.Е. Система моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах/ В.Е. Бовда, І.В. Стеценко// Матеріали III всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління» (ІСТУ-2019) – м. Київ.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 20-22 листопада 2019 р. – С. 140-145.

33. Бовда В.Е., Петрі-об'єктне моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах / В.Е. Бовда, І.В. Стеценко, Е.М. Бовда – Україна, Київ: Збірник наукових праць ВІТІ № 3 2019. С. 6-15.

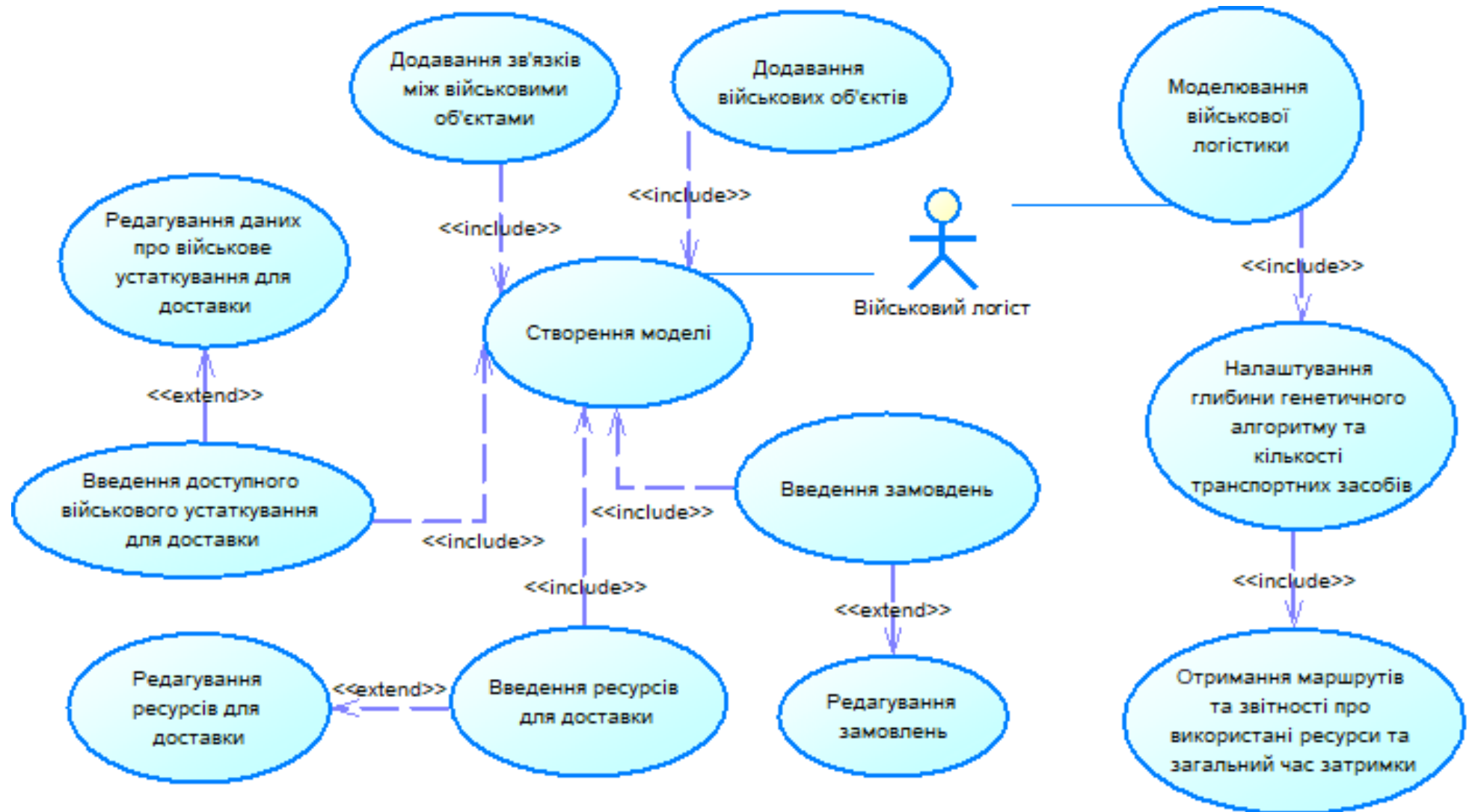
34. Бовда В.Е., Система моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах/ В.Е. Бовда, І.В. Стеценко, Е.М. Бовда – Україна, Київ: Збірник наукових праць ВІТІ № 4 2019. С. 6-15.

35. Бовда В.Е. Петрі-об'єктна модель транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах / В.Е. Бовда // Матеріали XII науково-практичної конференції «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил», 14 – 15 листопада 2019 р. – С. 42-43

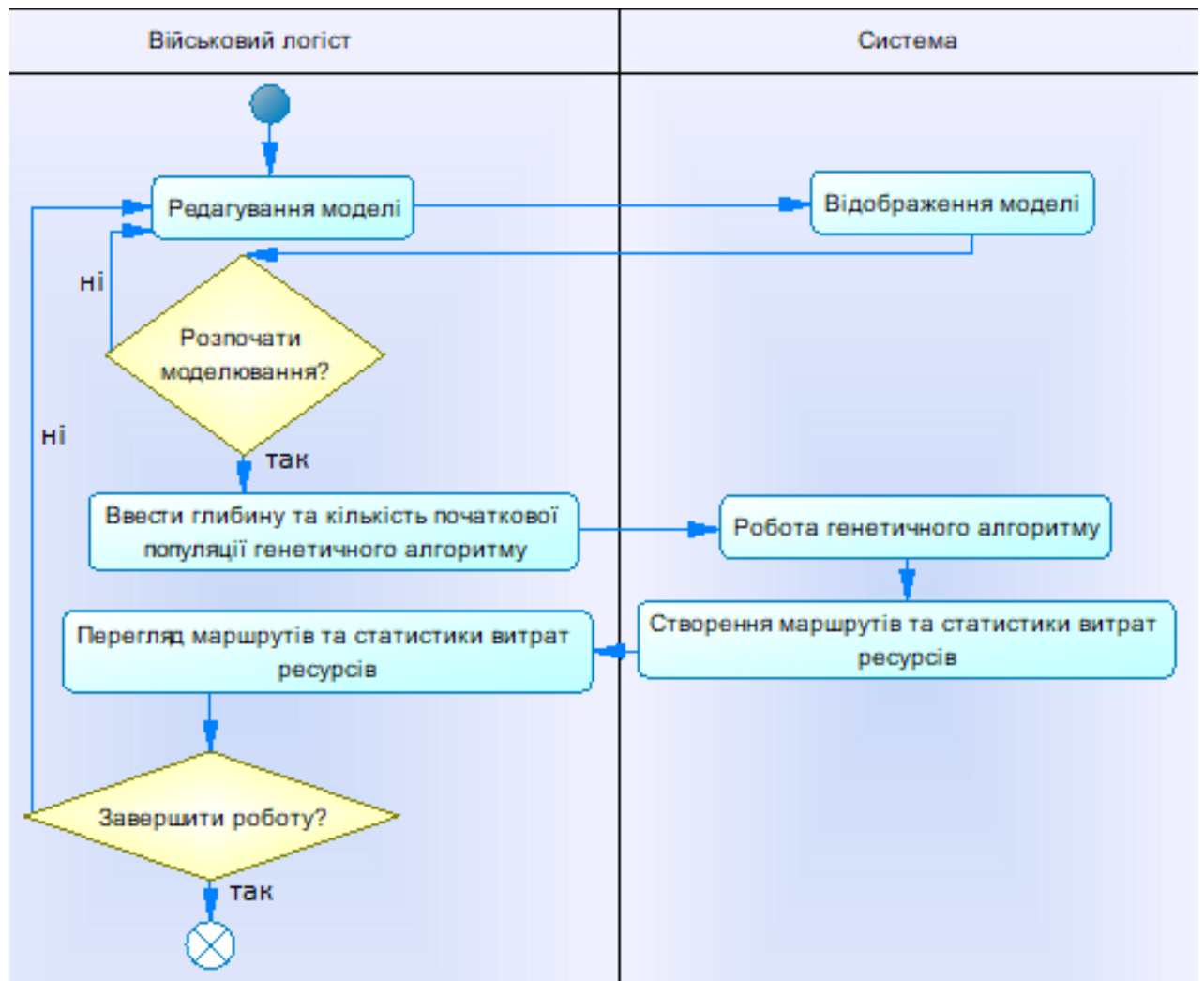
## **ДОДАТОК А**

Графічний матеріал

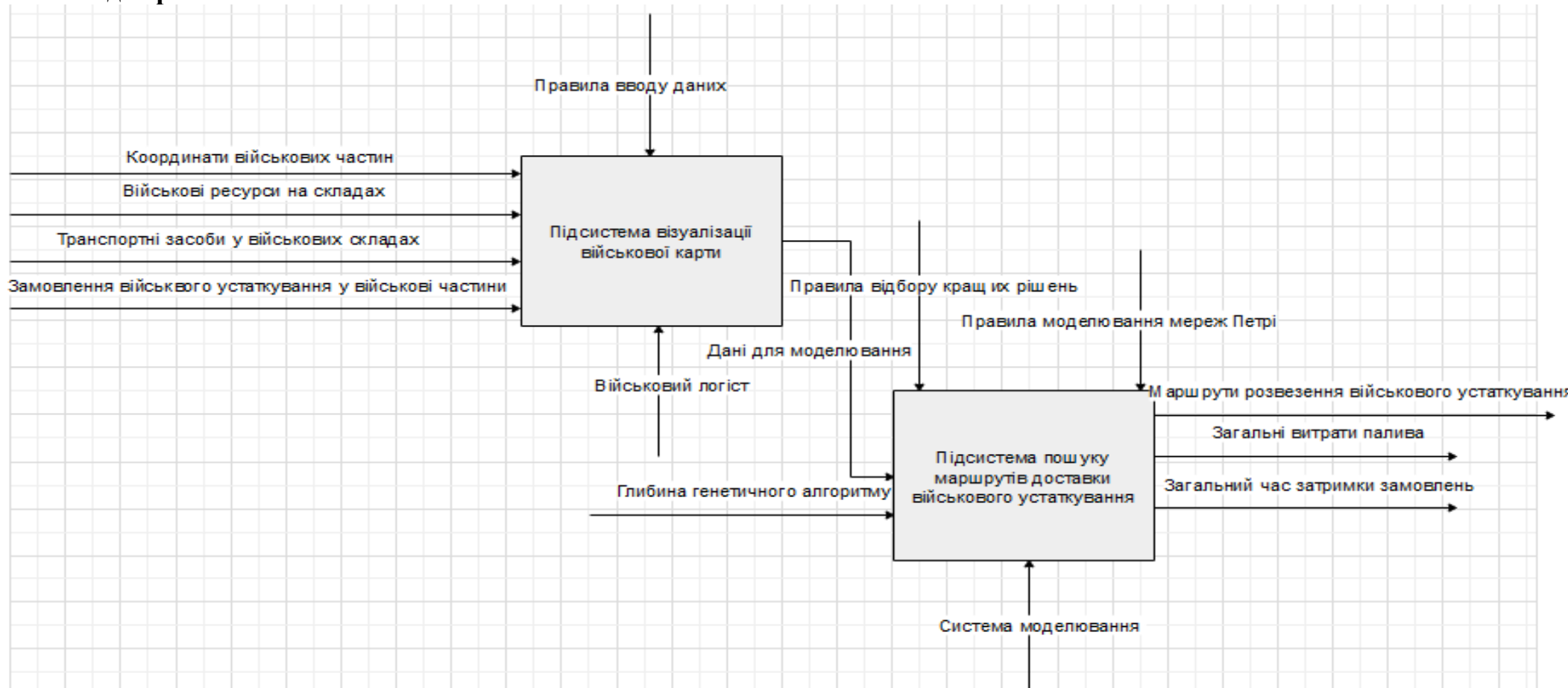
## Схема структурних варіантів виконання



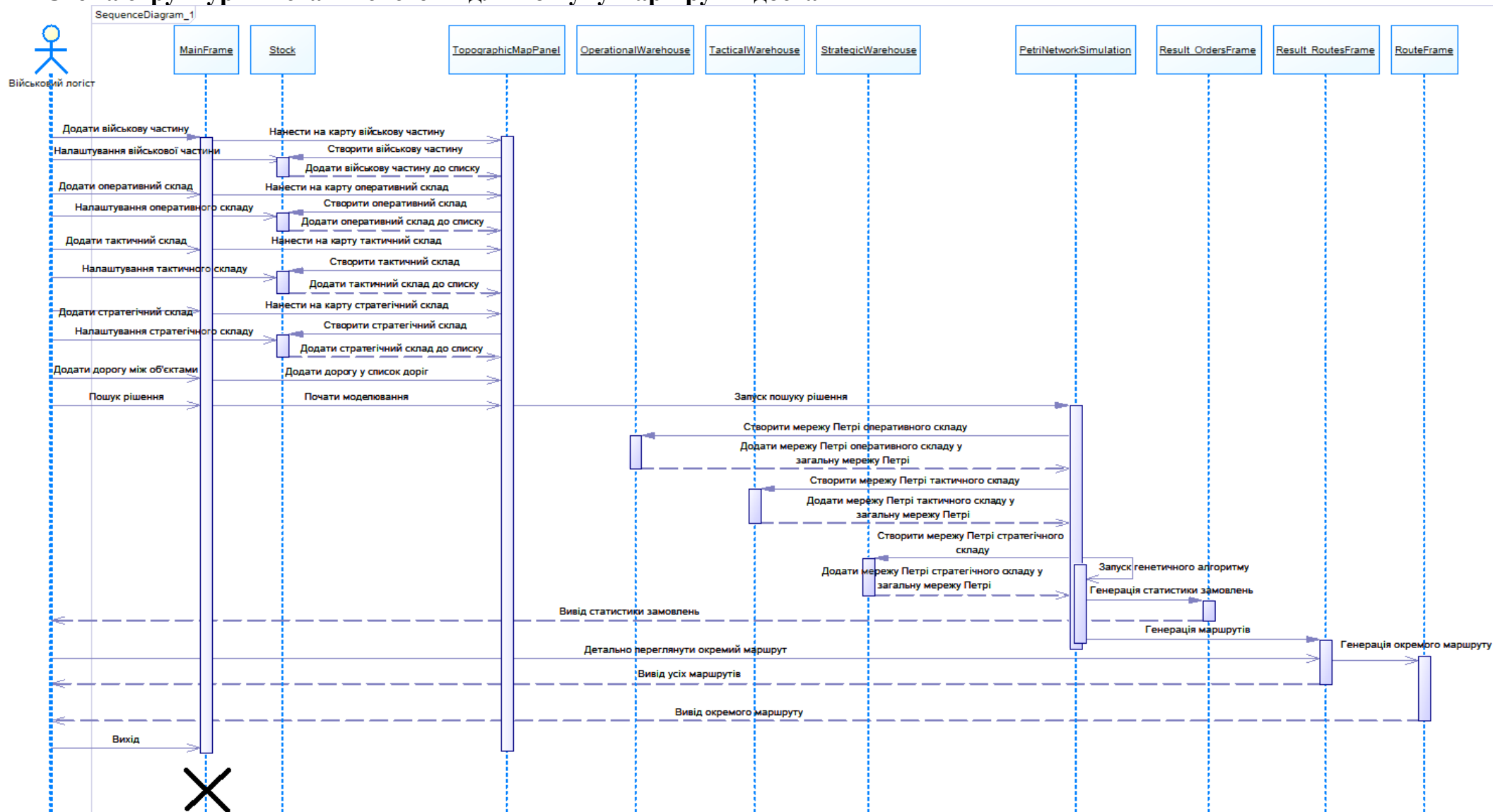
**Діаграма діяльності створення маршрутів та статистики витрат ресурсів на перевезення**



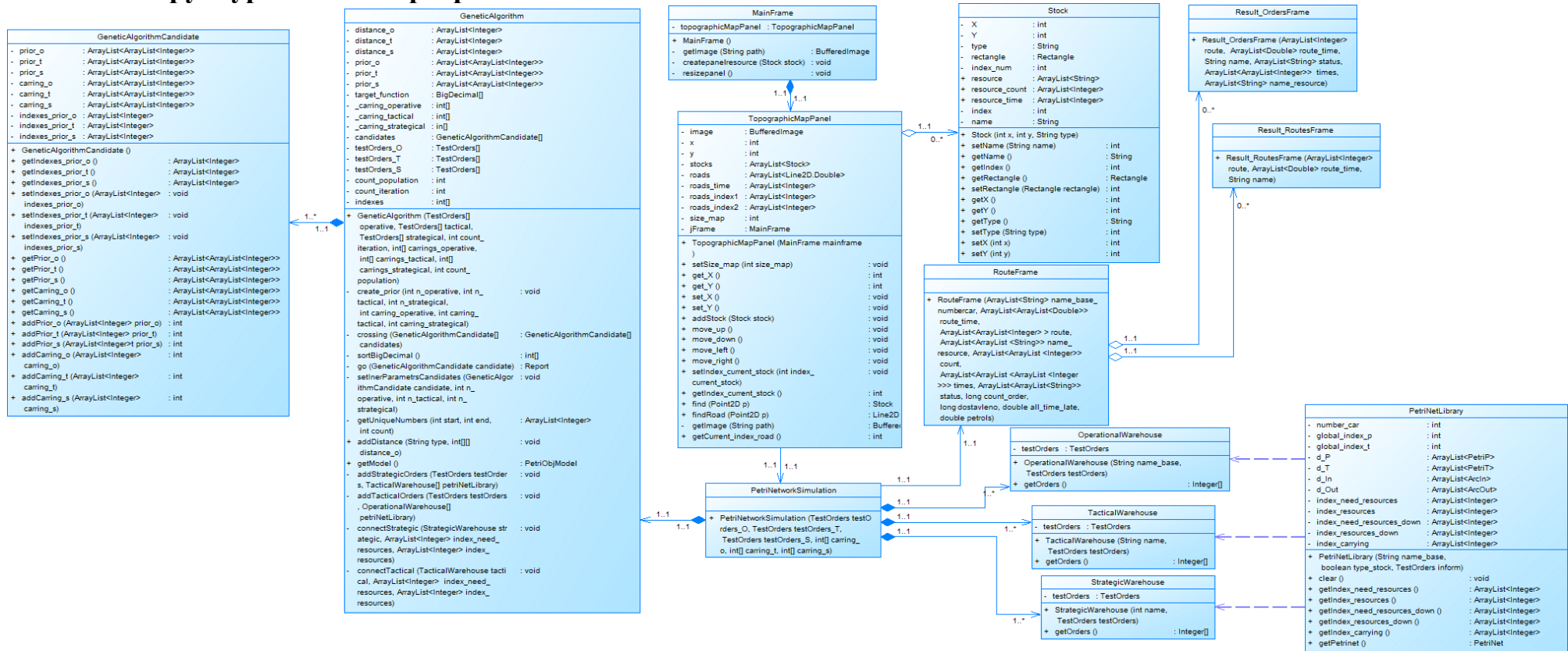
## BPWIN діаграма



## Схема структурних станів системи для пошуку маршрутів доставки

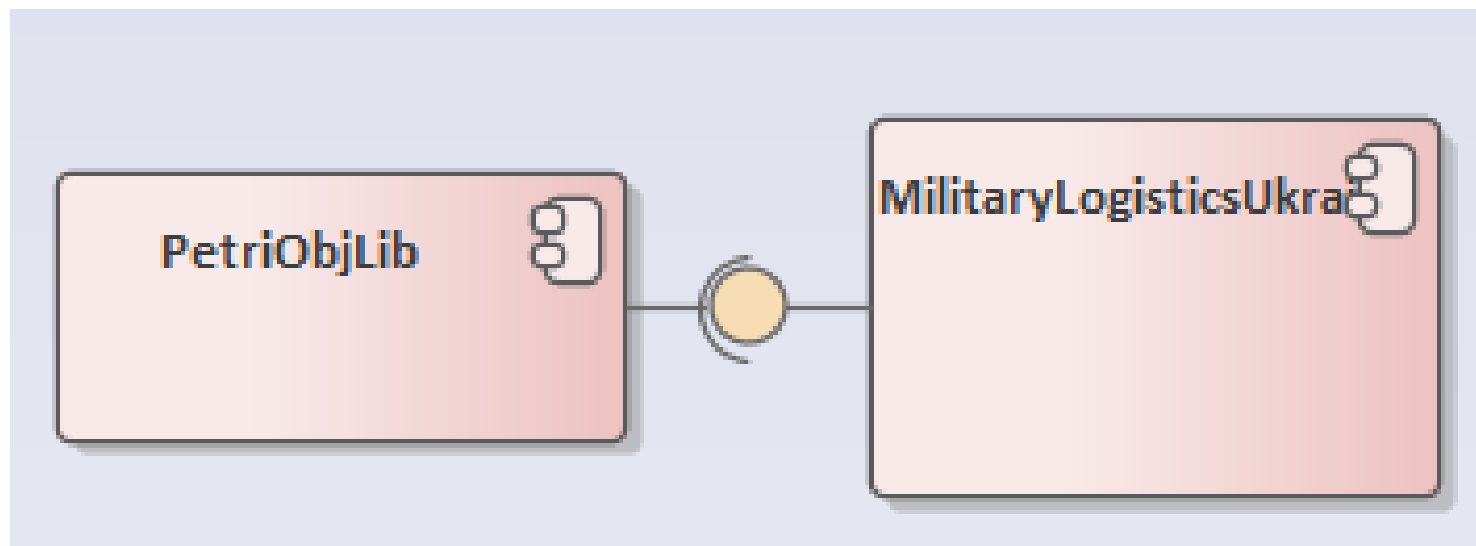


## Схема структурна класів програмного забезпечення

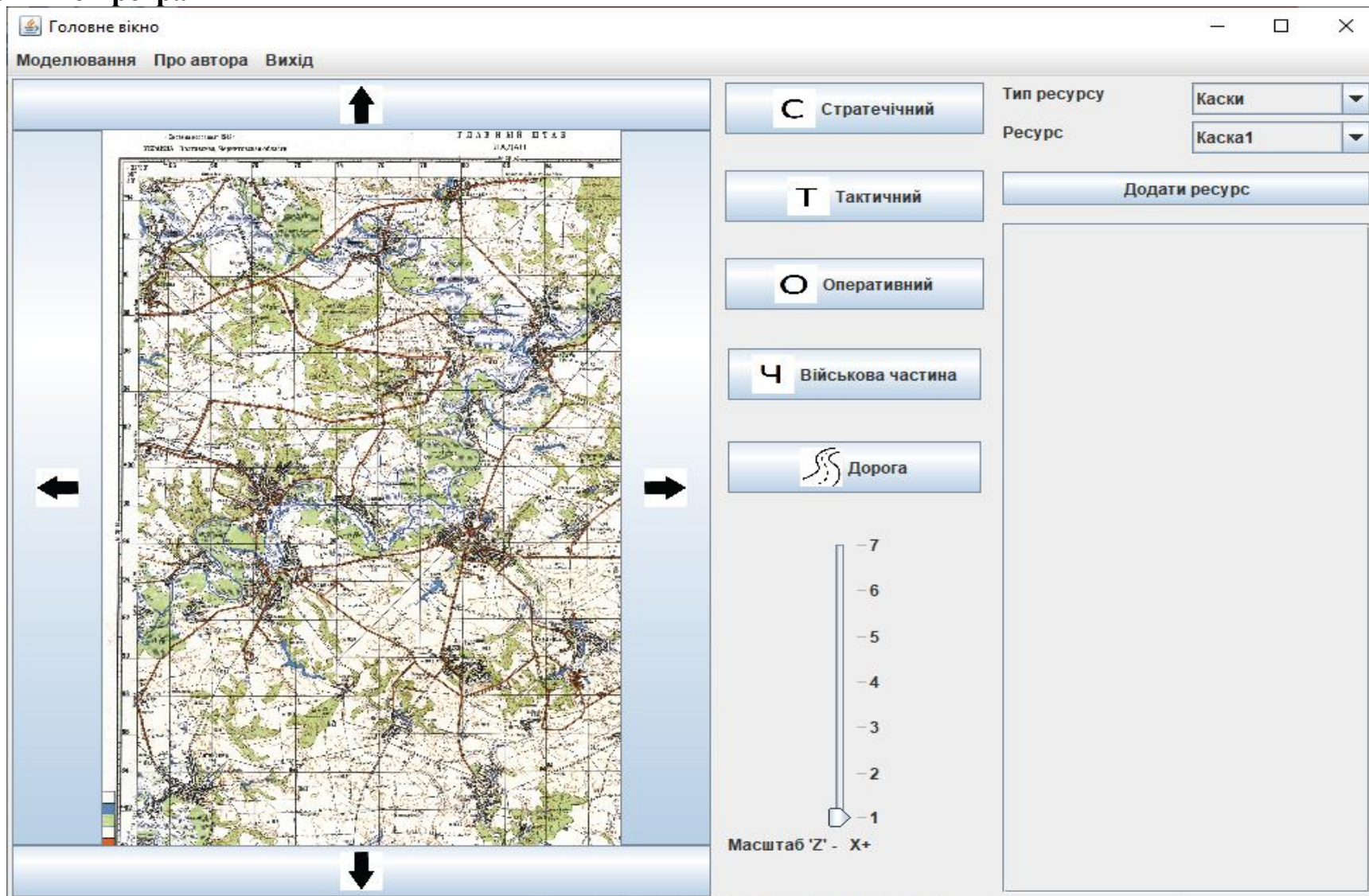




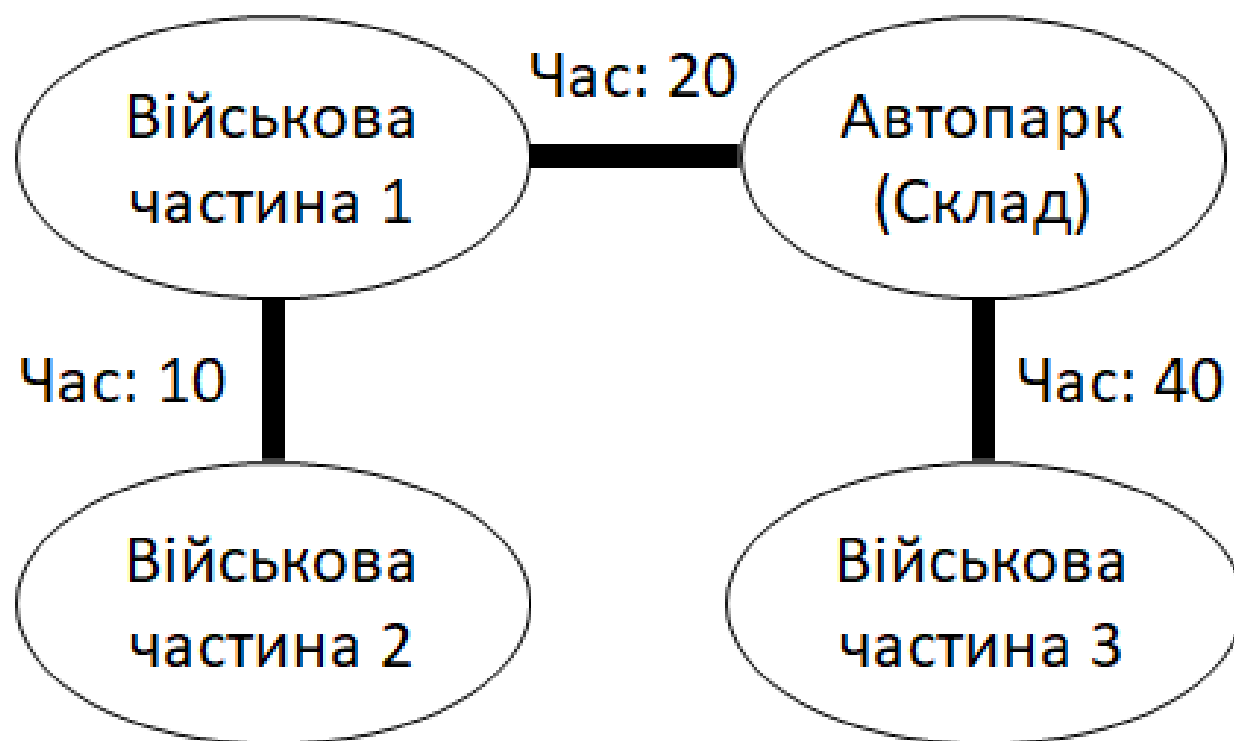
## Схема структурних компонентів



## Головне вікно програми



Приклад транспортних сполучень між автопарком та військовими частинами



## Представлення мережею Петрі транспортних сполучень між автопарком та військовими частинами

